



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

***“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE EN LA REGIONAL 2 DE SEPTIEMBRE CANTÓN  
COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”***

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: JONATAN ISMAEL ANDRADE CÁCERES**

**TUTOR: Ing. MARIO VILLACRÉS**

**Riobamba – Ecuador**

**2015**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de **investigación “REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA REGIONAL 2 DE SEPTIEMBRE CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**, de responsabilidad del Señor Jonatan Ismael Andrade Cáceres ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Mario Villacres  
**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Marco Chuiza  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Hugo Calderón  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**“Yo, JONATAN ISMAEL ANDRADE CÁCERES, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio de la Tesis de Grado pertenece a la “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

---

Jonatan Ismael Andrade Cáceres

## AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a **Dios** todo poderoso ya que a él le debo la vida y cada triunfo alcanzado, por todas las lecciones aprendidas y por escuchar mis oraciones colmando de alegrías mi vida.

A mis padres **José y Sandra** por todos sus sacrificios, ya que gracias a su esfuerzo e alcanzado mis metas y su ejemplo me ha inspirado para seguir adelante con cada obstáculo.

A mis suegros **Luis y Elena** por brindarme su apoyo incondicional día a día para culminar esta etapa de mi vida.

A mi amada esposa **Nandy** por caminar juntos de la mano en la vida y estar presente en las buenas y en las malas apoyándome a cada momento ya que mis triunfos también son sus triunfos

A mis hijos **Ismael y Abby** por ser la alegría que ilumina mi vida.

A los Ingenieros **Mario Villacrés y Marco Chuiza**, por compartir sus conocimientos a lo largo de este trabajo investigativo.

Jonatan Ismael

## **DEDICATORIA**

A mis Padres José y Sandra, por su confianza en mí y por su apoyo en cada paso de mi vida

A mis hermanos: Sebastián, Verónica (†), Valeria, Priscila y José por su cariño, consejos y sus palabras de aliento.

A mi esposa Nandy, compañera incondicional de cada locura, amiga inseparable, siempre presente en las buenas y en las malas, gracias a su amor, cariño, paciencia, y perseverancia hoy soy la persona que soy, gracias amor por cada alegría que me has dado.

A mis amados hijos Ismael y Abby que hacen que cada día de mi vida sea el mejor, con su inocencia y amor se han robado mi corazón haciendo que todo esfuerzo valga la pena.

Jonatan Ismael

## TABLA DE CONTENIDO

CONTENIDO	PAGINA
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	vi
INDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE FIGURAS .....	xii
LISTADO DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
SUMMARY .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I	
1 MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 Agua Potable .....	4
1.1.1 Condiciones .....	4
1.1.1.1 Condiciones Físicas: .....	4
1.1.1.2 Condiciones Químicas: .....	4
1.1.1.3 Condiciones Microbiológicas: .....	5
1.2 Calidad del Agua .....	5
1.3 Tipos de Procesos para la potabilización del Agua .....	7
1.4 Pruebas de Jarras .....	8
1.5 Rediseño de la Planta de Tratamiento .....	8
1.5.1 Mezcla rápida en vertederos rectangulares .....	8
1.5.1.1 Consideraciones Adicionales .....	13
1.5.2 Floculador Hidráulico de flujo horizontal .....	13
1.5.2.1 Consideraciones Adicionales .....	17
1.5.2.2 Dosificación del PAC .....	18
1.5.3 Sedimentación Laminar de Placas .....	19
1.5.3.1 Consideraciones Adicionales .....	22
1.5.4 Filtros .....	23
CAPITULO II	
2 PARTE EXPERIMENTAL .....	24

2.1	<b>Localización de la Investigación</b>	24
2.1.1	<i>Metodología</i>	24
2.2	<b>Métodos y Técnicas</b>	25
2.2.1	<i>Métodos</i>	25
2.2.1.1	<i>Método Inductivo</i>	25
2.2.1.2	<i>Método Deductivo</i>	25
2.2.1.3	<i>Método Experimental</i>	25
2.2.2	<i>Técnicas</i>	27
2.3	<b>Datos Experimentales</b>	28
2.3.1	<i>Caudal</i>	28
2.3.2	<i>Caracterización del Agua en condiciones de diagnóstico</i>	28
2.3.3	<i>Parámetros fuera de la Norma</i>	29
CAPITULO III		
3	<b>CALCULOS Y RESULTADOS</b>	32
3.1	<b>Calculos</b>	32
3.1.1	<i>Pruebas de Tratabilidad</i>	32
3.1.1.1	<i>Prueba de Jarras</i>	32
3.1.2	<i>Propuesta</i>	33
3.1.3	<i>Dimensionamiento de las etapas de potabilización</i>	34
3.1.3.1	<i>Vertedero Rectangular</i>	34
3.1.3.2	<i>Floculadores Hidráulicos de Flujo Horizontal</i>	38
3.1.3.3	<i>Diseño del Sedimentador</i>	43
3.1.3.4	<i>Rediseño de Filtros</i>	47
3.1.4	<i>Requerimiento presupuestario</i>	47
3.2	<b>Resultados</b>	48
3.2.1	<i>Resultados de los ensayos de tratabilidad</i>	48
3.2.2	<i>Resultados de los análisis Físico-Químicos y Microbiológicos del agua cruda y tratada</i>	50
3.2.3	<i>Resultado del dimensionamiento de las etapas de potabilización</i>	51
3.2.3.1	<i>Caudal De Diseño</i>	51
3.2.3.2	<i>Vertedero Rectangular</i>	51
3.2.4	<i>Floculadores Hidráulicos</i>	52
3.2.5	<i>Sedimentadores</i>	53
3.2.6	<i>Filtros</i>	53
3.3	<b>Análisis y Discusión de los Resultados</b>	53
<b>CONCLUSIONES</b>		55
<b>RECOMENDACIONES</b>		56

## BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

### ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>a</b>	Separación entre baffles
<b>A</b>	Área
<b>Al</b>	Aluminio
<b>As</b>	Área superficial
<b>B</b>	Ancho del vertedero
<b>B</b>	Espesor de la lámina o tabique
<b>B<sub>F</sub></b>	Ancho del floculador
<b>b<sub>p</sub></b>	Espesor de las placas
<b>B<sub>S</sub></b>	Ancho del sedimentador
<b>C</b>	Concentración
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>D</b>	Profundidad del Agua
<b>E</b>	Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque
<b>e<sub>p</sub></b>	Distancia entre placas
<b>F<sub>1</sub></b>	Número de Froude
<b>F<sub>e</sub></b>	Hierro
<b>G</b>	Gravedad
<b>G</b>	Gradiente de velocidad
<b>G<sub>t</sub></b>	Número adimensional de Camp
<b>H</b>	Carga sobre el vertedero
<b>H</b>	Pérdida de energía en el resalto
<b>H</b>	Perdida Total
<b>h<sub>1</sub></b>	Profundidad supercrítica
<b>h<sub>2</sub></b>	Profundidad después del resalto
<b>h<sub>c</sub></b>	Profundidad crítica de flujo
<b>h<sub>f</sub></b>	Pérdida por fricción en el tanque
<b>k</b>	Constante empírica
<b>K<sub>g</sub>/d</b>	Kilogramos por día
<b>K<sub>g</sub></b>	Kilogramo



$K_m$	Kilómetros
$L/d$	Litros por día
$L/s$	Litros por segundo
$L$	Litro
$L$	Longitud efectiva de cada canal
$L'$	Longitud relativa en la región de transición
$L$	Longitud total recorrida por el agua
$L_c$	Longitud relativa corregida
$L_j$	Longitud del resalto
$L_m$	Longitud de salto
$l_p$	Longitud de las placas
$L_r$	Longitud relativa del sedimentador
$L_s$	Longitud del área de sedimentación acelerada
$L_T$	Longitud total de la cámara de floculación
$m/d$	Metros por día
$m/min$	Metros por minuto
$m/s$	Metros por segundo
$m$	Metros
$m^2$	Metros cuadrados
$m^3$	Metros cúbicos
$mg/L$	Miligramos por litro
$mg$	Miligramo
$mm$	Milímetros
$n$	Coefficiente de Fricción
$N$	Número de canales
$N$	Número de Filtros
$N_a$	Sodio
$N_p$	Número de placas
$NTE$	Norma Técnica Ecuatoriana
$NTU$	Unidades Nefelométricas de turbiedad
$P$	Altura del vertedero
$Pa$	Pascales
$PAC$	Policloruro de Aluminio
$pH$	Potencial de Hidrogeno
$ppm$	Partes por millón
$Q$	Caudal
$R$	Radio hidráulico

RPM	Revoluciones por Minuto
S	Azufre
S	Segundo
t	Tiempo de mezcla o retención
$T_m$	Tiempo de mezcla
trp	Tiempo de retención
v	Velocidad de flujo
$\nu$	Viscosidad cinemática
V	Volumen
$V_1$	Velocidad de entrada al resalto
$V_2$	Velocidad de salida al resalto
$V_m$	Velocidad media
$V_{sc}$	Velocidad crítica
$V_{so}$	Carga superficial
$\gamma$	Peso específico del agua
$\mu$	Viscosidad dinámica del agua
$\rho$	Densidad
%P	Porcentaje de dilución
$\theta$	Angulo de inclinación

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Descripción de las etapas de potabilización del agua .....	7
Tabla 2-1:	Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera de Presión .....	13
Tabla 3-1:	Parámetros de Diseño de Vertederos Rectangulares .....	13
Tabla 4-1:	Parámetros de diseño para floculadores hidráulicos de tabiques .....	17
Tabla 5-1:	Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning .....	18
Tabla 6-1:	Parámetros de Diseño de Floculadores de Tabiques .....	18
Tabla 7-1:	Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares .....	22
Tabla 8-1:	Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto – Cemento .....	22
Tabla 9-1:	Valores de Sc Típicos .....	22
Tabla 10-1:	Tipos de Flujo según el Número de Reynolds .....	23
Tabla 1-2:	Descripción de Métodos de Análisis .....	26
Tabla 2-2:	Descripción de las técnicas de Análisis .....	27
Tabla 3-2:	Medición de caudal .....	28
Tabla 4-2:	Caracterización Físico Química y Microbiológica del agua cruda .....	29
Tabla 5-2:	Validación de los datos de caracterización .....	30
Tabla 6-2:	Parámetros fuera de norma .....	31
Tabla 1-3:	Costos de equipos y accesorios.....	47
Tabla 2-3:	Costos de operación por día.....	48
Tabla 3-3:	Costos totales .....	48
Tabla 4-3:	Resultados de las pruebas de Tratabilidad.....	48
Tabla 5-3:	Prueba de Jarras Turbidez 6.37.....	49
Tabla 6-3:	Prueba de Jarras Turbidez 8.92.....	49
Tabla 7-3:	Prueba de Jarras Turbidez 11.2 .....	49
Tabla 8-3:	Prueba de Jarras Turbidez 16.22 .....	50
Tabla 9-3:	Caracterización del agua cruda y tratada .....	50
Tabla 10-3:	Caudal de diseño .....	51
Tabla 11-3:	Resultados vertedero rectangular .....	51
Tabla 12-3:	Resultados Floculador hidráulico .....	52
Tabla 13-3:	Resultados Dosificación de PAC .....	52
Tabla 14-3:	Resultados del Sedimentador .....	53

Tabla 15-3	Resultados de Filtros .....	53
------------	-----------------------------	----

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Planta de tratamiento de agua potable .....	7
Figura 2-1:	Configuración del resalto en un vertedero rectangular .....	8
Figura 3-1:	Floculador Horizontal .....	13
Figura 4-1:	Sedimentador laminar .....	19
Figura 1-3:	Propuesta del rediseño de la Planta de potabilización del agua .....	31
Figura 2-3:	Dimensiones del Mezclador con vertedero rectangular .....	37
Figura 3-3:	Dimensiones del Floculador Hidráulico .....	43
Figura 4-3:	Dimensiones del sedimentador .....	46

## **LISTADO DE ANEXO**

- Anexo A:** NORMA INEN 1108:2011 AGUA POTABLE
- Anexo B:** HOJA TECNICA DE POLICLORURO DE ALUMINIO
- Anexo C:** PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO
- Anexo D:** SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA PLANTA
- Anexo E:** PLANTA DE TRATAMIENTO ACTUAL
- Anexo F:** PRUEBAS DE TRATABILIDAD
- Anexo G:** ANALISIS DE AGUA DE LA ENTRADA DE LA PLANTA
- Anexo H:** ESQUEMA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
- Anexo I:** CARTA DE CALIBRACION TURBIEDAD-PAC

## **RESUMEN**

Se rediseño la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Regional 2 de Septiembre del Cantón Colta Provincia de Chimborazo, para mejorar la calidad del agua que se abastece a los habitantes de las comunidades que forman parte de esta Regional. Se realizó la caracterización física, química y microbiológica de tres muestras de agua tomadas a la entrada de la planta y a la salida de la misma durante un mes y se determinaron los parámetros que se encontraban fuera del rango de la Norma Técnica Ecuatoriana, como: el Color, la Turbiedad y el Hierro, utilizando para la remoción de los mismos el coagulante floculante Policloruro de Aluminio mediante la aplicación del ensayo de jarras y probando distintas diluciones del químico. Encontrada la dosis más adecuada del coagulante se controló los parámetros que se hallaban fuera de los límites de la norma, determinando que la utilización del químico es la correcta. En base a los análisis realizados se evidencio la necesidad de implementar un vertedero rectangular con aplicación del PAC, un floculador hidráulico de flujo horizontal, sedimentador laminar y la reubicación del proceso de desinfección potenciando de esa manera la función de la planta de potabilización. La aplicación del rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en la Regional 2 de Septiembre del Cantón Colta, es fundamental para la distribución de agua de calidad en procura de la salud y bienestar de las comunidades. Por lo que se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta la implementación del rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Regional 2 de Septiembre ya que está orientado a satisfacer las necesidades de la comunidad.

**Palabras calve:** < PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE>< CALIDAD DEL AGUA>< CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL AGUA>< CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL AGUA>< CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGUA><GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL >< CANTÓN COLTA><PROVINCIA DE CHIMBORAZO>

## **SUMMARY**

It was designed the drinking water called September 2 regional plant , in Colta - Chimborazo province to improve the quality of water supplied to the inhabitants of the communities that make up this region. Physical, chemical and microbiological characterization of three water samples taken at the entrance to the ground and out of it for a month and the parameters that were outside the range of the Ecuadorian technical standard were determined, such as was done: color, turbidity and iron removal using the same flocculent coagulant poly aluminum chloride by applying the jar test and testing and testing different dilutions of the chemical. Once the most appropriate dose of the coagulant found parameters were outside the limits of the standard, determining that the use of the chemical is correct is controlled. Based on the analysis performed the need to implement a real application of the PAC rectangular with a hydraulic flocculator horizontal flow laminar and settler relocation of the disinfection process thereby enhancing the role of the water treatment plant was evident. The application of the redesign of the treatment plant the drinking water called September 2 regional plant , in Colta - Chimborazo province, it is essential for the distribution of water quality in the pursuit of health and well-being of communities. It is recommended redesigning the treatment the drinking water called September 2 regional plant because it is geared to meet the needs of the community.

## **INTRODUCCIÓN**

El cantón Colta se encuentra en constante crecimiento dedicada a la actividad agropecuaria, comercial y turística se encuentra situada en una altitud promedio de 3.212m en la parte noroccidental de la Provincia de Chimborazo, a 18 Km de la ciudad de Riobamba, con una temperatura media es de 12 °C. La zona del proyecto comprende la Regional 2 de Septiembre, comunidad correspondiente a la Parroquia Columbe que se encuentra ubicado a 22 Km de la cabecera cantonal Colta.

Es de vital importancia que el suministro de agua que abastece a esta población sea de buena calidad con la finalidad de evitar cualquier tipo de enfermedad a fin de salvaguardar la salud de aquellas personas que lo habitan.

Con el rediseño del sistema de tratamiento de agua se tiene como finalidad sumar nuevas estructuras a fin de repotenciar el proceso de potabilización teniendo en cuenta los requisitos de la norma NTE INEN 1108:2011 Segunda Revisión Agua Potable Requisitos.

### **Antecedentes**

El Cantón Colta tiene como cabecera cantonal a la parroquia de Cajabamba formada por dos parroquias urbanas Cajabamba y Cicalpa, cuatro parroquias rurales: Cañi, Columbe, Juan de Velasco o Pangor y Santiago de Quito.

La zona del proyecto comprende la Regional 2 de Septiembre, comunidad correspondiente a la Parroquia Columbe que se encuentra ubicado a 22 Km. de la cabecera cantonal Colta.

El sistema de abastecimiento de agua es alimentado por dos tomas superficiales proveniente de una acequia ubicada a varios metros del tanque de captación y que proporciona de agua a 17 comunidades aledañas.

Las aguas distribuidas son sometidas secuencialmente a un tanque desarenador, tanque de almacenamiento transitorio, desinfección con pastillas de cloro y filtros de arena. En términos generales el sistema de abastecimiento actual proporciona agua a aproximadamente 730 usuarios.



Actualmente cuenta con un sistema de tratamiento ineficiente, administrado por una Junta Directiva y controlada por un operador.

El Laboratorio de Análisis de Agua es una dependencia que se ha constituido específicamente para llevar un control estricto y mejoramiento continuo del servicio que presta la Municipalidad del cantón Colta en el campo de agua potable a nivel rural.

### **Justificación**

Cuando se utiliza aguas superficiales o subterráneas se debe realizar los correspondientes análisis y someterla a tratamiento para su potabilización con la intención de lograr un eficiente tratamiento de la misma para obtener una calidad de agua óptima para el consumo humano libre de elementos dañinos para la salud humana.

El agua que llega a la planta de tratamiento es captada de dos tomas de una misma acequia dicha agua se encuentra expuesta a las inclemencias del clima y a la presencia de animales lo que provoca que sea muy susceptible a la contaminación, su transporte provoca el acarreamiento de sólidos en suspensión. La necesidad de ofrecer un agua de calidad a los pobladores de las comunidades que son abastecidos por dicha planta justifica la importancia del desarrollo de este tema de tesis, debido a que la actual planta no proporciona el tratamiento correcto ni suficiente es necesario la reingeniería de la misma mediante la implementación de nuevas estructuras que contribuyan a la mejora de los procesos de potabilización.

Por todo esto el GAD de Colta en conjunto con el Laboratorio de Análisis de Agua apoyan y facilitan el estudio para implementar un “REDISÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA REGIONAL 2 DE SEPTIEMBRE CANTON COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

### **Objetivos**

#### **Objetivos Generales:**

- Rediseñar el sistema de tratamiento de agua potable en la regional 2 de septiembre Cantón Colta, Provincia de Chimborazo.

**Objetivos Específicos:**

- Realizar un diagnóstico actualizado de la planta de tratamiento basado en la inspección visual y en la caracterización físicoquímica y microbiológica del agua antes y después del tratamiento.
- Identificar los parámetros que no cumple con los requisitos establecidos en la Norma INEN- NTE 1108, que sirven de referencia para un agua apta para el consumo humano.
- Realizar las pruebas de tratabilidad a efectos de cumplir con los requisitos de la Norma INEN- NTE 1108 versión 2011.
- Efectuar el rediseño del sistema de tratamiento en la regional 2 de septiembre Cantón Colta, Provincia de Chimborazo, basado en los resultados de tratabilidad.

## **CAPITULO I**

### **1. MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 Agua Potable**

Se denomina agua potable al agua que se puede consumir de manera directa y que previamente fue sometida a un proceso de potabilización y de ninguna manera representa un riesgo para la salud, dicha agua debe cumplir con los requerimientos establecidos en Normas de calidad ya sea locales o/e internacionales

##### ***1.1.1 Condiciones:***

###### ***1.1.1.1 Condiciones Físicas:***

El agua de consumo o agua potable debe poseer características óptimas para el consumo humano es por esta razón que no puede presentar ni olor ni color, ni partículas en suspensión que puedan alterar su aspecto y conferirle turbiedad, se debe tener en cuenta que el pH también es un factor predominante al momento de evaluar las características físicas del agua, todos los factores mencionados deben estar ajustados a valores preestablecidos en normas

Para lograr un óptimo control de las características físicas en un proceso de purificación se debe tener en cuenta la calidad de las instalaciones evitando que el agua en proceso de purificación sufra contaminación de agentes externos al proceso, garantizando de esta manera la calidad del agua durante todo el proceso hasta su distribución al consumidor final.

###### ***1.1.1.2 Condiciones Químicas:***

Se considera el agua como potable cuando sus condiciones químicas no presentan una cantidad excesiva o insuficiente de sales disueltas dando un sabor agradable al gusto, el análisis químico del agua nos permite determinar de manera cualitativa y cuantitativa las sales disueltas estas no deben presentar ningún tipo de perjuicio para la salud.

Se ha establecido límites de control para los distintos componentes presentes en el agua dichas sustancias deben mantener cierta tolerancia mientras no se demuestre su perjuicio para el consumidor

#### *1.1.1.3 Condiciones Microbiológicas:*

El agua para consumo humano debe ser de carácter estéril con respecto a la presencia de bacterias o microorganismos patógenos.

La investigación de bacterias Coliformes puede hacerse en las aguas en forma cualitativa o cuantitativa: la determinación cuantitativa es la que tiene más significación y se funda en sembrar en medios nutritivos especiales, volúmenes crecientes de agua y determinar con que volumen mínimo del agua original, el resultado es positivo.

## **1.2 Calidad del Agua**

La calidad del agua está influenciada ya sea por factores naturales como la acción humana

Para determinar la calidad del agua debemos evaluar las características físicas y químicas de una muestra de agua con un estándar, para el caso del agua potable se establece normas orientadas a suministrar agua limpia y saludable para el consumo humano dichas normas presentan un grado de aceptación de niveles de toxicidad científicamente comprobado tanto para humanos como para los organismos acuáticos.

La calidad del agua varía de acuerdo al tipo y cantidad de sustancia presentes en la misma, así tenemos:

**Cloruros.-** La concentración de iones cloruros es de 200 – 300 mg/L; al presentar valores superiores otorga un sabor desagradable al agua, es uno de los iones que se encuentra más difundido en las aguas naturales.

**Nitritos y nitratos.-** El nitrato se encuentra en el agua de forma natural, puede presentar incremento en su concentración debido a la influencia del hombre ya sea por el uso de fertilizantes inorgánico y orgánicos, actividades industriales y urbanas, aplicación de herbicidas y plaguicidas

**Nitrógeno Amoniacal.-** Es un producto que se obtiene naturalmente de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados, en aguas superficiales no es común la presencia de amoníaco, la presencia de amoníaco libre o ion amonio es un indicativo químico de contaminación reciente y peligrosa.

**Dureza.-** Esta definido como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua, estos son calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos. Constituyen uno de los parámetros más relevantes en la calidad del agua. (DUREZA. 2014 : [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leip/valenzuela\\_m\\_td/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/capitulo3.pdf))

**Bicarbonato y Carbonatos.-** La presencia de iones carbonatos y bicarbonatos en el agua natural o tratada influencia la presencia de alcalinidad

**Oxígeno disuelto.-** para obtener una buena calidad del agua se considera indispensable un adecuado nivel de oxígeno disuelto ya que este elemento es fundamental para todas las forma de vida.

**Hierro.-** La presencia de hierro en el agua es uno de los contaminantes que se produce con mayor frecuencia en el agua, puede afectar su sabor y potencia la proliferación de bacterias ferruginosas.

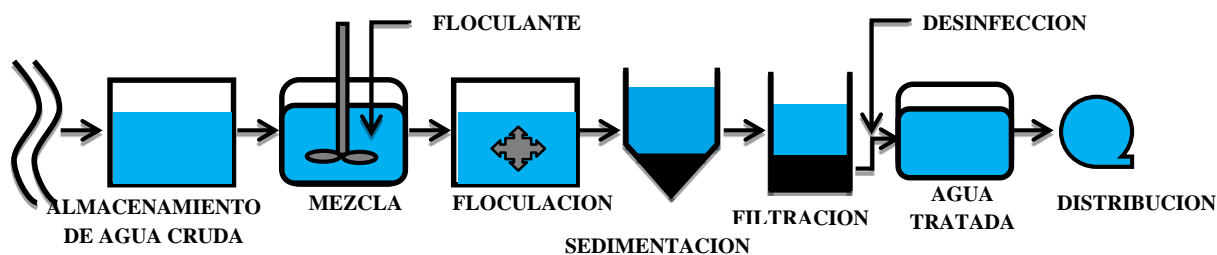
**Manganeso.-** al igual que el hierro es uno de los parámetros que son limitados para obtener una

**Sulfatos.-** se hallan como sulfatos alcalinos (de sodio y potasio) en la mayoría de los casos, pero no es raro encontrarlos como sulfato de magnesio. Si esta sal se encuentra en cantidades muy elevadas le confiere al agua sabor desagradable.

**Sólidos Totales Disueltos.-** Se compone principalmente de sustancias inorgánicas, las principales son calcio, magnesio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.

**Turbiedad.-** Debido a la presencia de partículas suspendidas el agua se torna de apariencia turbia, cuanta más turbidez posea el agua la calidad de la misma decrece.

### 1.3 Tipos de Procesos para la potabilización del Agua



**Figura 1-1 Planta de tratamiento de agua potable**

Elaborado por: Jonatan Andrade

**Tabla: 1-1 Descripción de las etapas de potabilización del agua**

PROCESO	FUNCIÓN	Equipos/Estructuras/Sistemas
<b>Captación</b>	Acoger el agua de las fuentes naturales por medio de tomas o bombas de captación	Tuberías Bombas de captación
<b>Mezcla Rápida</b>	Dispersión rápida y homogénea del coagulante a través de todo el flujo de agua	Resaltos hidráulicos en canales Canales Parshall Vertederos rectangulares Tuberías de succión de bombas Mezcladores mecánicos en línea Rejillas difusoras Chorros químicos Tanques con equipo de mezcla rápida
<b>Coagulación</b>	Desestabiliza el coloide o turbiedad del agua, entre los más importantes tenemos el Sulfato de Aluminio y los Polímeros de Aluminio, utilizando para el presente trabajo el PAC.	Bombas dosificadoras
<b>Floculación</b>	Aglutinamiento de las sustancias coloides presentes en el agua, facilitando su decantación y posterior filtración. (FLOCULACION.2014, <a href="http://es.slideshare.net/aLeeMontijo/floculacin">http://es.slideshare.net/aLeeMontijo/floculacin</a> )	Floculadores mecánicos Floculadores hidráulicos
<b>Sedimentación</b>	Tiene lugar la decantación del floc, los que precipitan al fondo del decantador formando lodos, el agua se clarifica y su turbiedad baja. Por lo general la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora	Sedimentadores laminares que en su interior pueden estar constituidos por tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales o placas planas paralelas, onduladas u otras formas.
<b>Filtración</b>	Mediante medios porosos (arena, antracita) se remueve la porción de floculo restante de procesos de floculación y sedimentación, remueve el material suspendido (compuesto de floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos)	Filtros lentos Filtros rápidos
<b>Desinfección</b>	En este proceso se eliminan agentes patógenos mediante la	Bombas dosificadoras

	aplicación de un desinfectante, uno de los más usados es el Cloro líquido, la cloración La cloración conlleva también un control biológico y químico del agua	
--	---	--

Elaborado por: Jonatan Andrade

## 1.4 Pruebas de Jarras

El ensayo de jarras se lo utiliza comúnmente a nivel de laboratorio para determinar las condiciones más óptimas para el tratamiento del agua en una Planta de potabilización, dicho método permite ajustar el pH y variar las condiciones tanto de velocidad de mezclado como la cantidad de coagulante a utilizar, el principio de un ensayo de jarras es simular los procesos de coagulación y floculación donde se produce la eliminación de Material orgánico y coloides en suspensión que le confieren al agua tanto turbidez como olor y sabor

## 1.5 Rediseño de la Planta de Tratamiento

El rediseño del sistema de tratamiento tiene como finalidad mejorar el sistema actual, la optimización de las diferentes variables existentes para garantizar una mejor calidad de agua acorde a los requerimientos de la norma NTE INEN 1108:2011 Segunda Revisión Agua Potable Requisitos.

### 1.5.1 Mezcla rápida en vertederos rectangulares

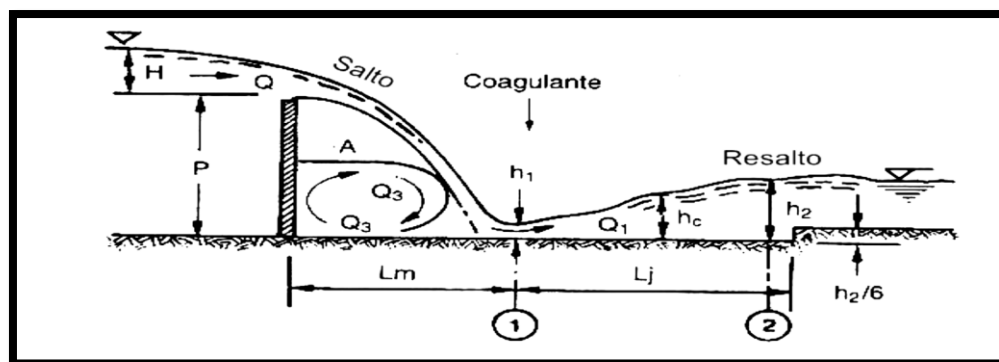


Figura 2-1: Configuración del resalto en un vertedero rectangular

Fuente: Romero J. Purificación del agua

La mezcla rápida tiene como finalidad dispersar distintas sustancias químicas y gases, con la adición del coagulante en la sección 1 (Fig. 1.6.1-1) a una distancia  $L_m$  que es la longitud del salto, es

recomendable que la adición del coagulante no se le aplique antes de dicha distancia ya que esto significaría que el químico se distribuya en forma desigual.

Parte del agua que ha recibido el coagulante retorna a la sección A y el resto continua su recorrido dándose un resalto  $L_j$

- El ancho del vertedero se calcula a partir de la ecuación empleada para determinar el caudal de un vertedero rectangular sin contracciones laterales, en caída libre.

$$Q = 1.84BH^{3/2} \quad \text{Ec. 1.5.1-1}$$

Dónde:

Q: Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

B: Ancho del vertedero (m)

H: Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua (m)

- El caudal unitario, caudal por unidad de ancho del vertedero, se define por:

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{Ec. 1.5.1-2}$$

Dónde:

Q: caudal de entrada ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

B: ancho del vertedero (m)

- La profundidad crítica del flujo será: ( $h_c$ )

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 1.5.1-3}$$

Dónde:

g : gravedad

q: caudal por unidad de ancho del vertedero

- La longitud de salto se define como la distancia a la cual debe aplicarse el coagulante para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en todo el flujo de agua cruda.



$$Lm = 4,3P^{0.1}hc^{0.9} \quad \text{Ec. 1.5.1-4}$$

Dónde:

P: altura del vertedero (m), el valor para caudales pequeños es máximo 1m.

hc : profundidad crítica de flujo (m)

- Cuando hay resalto, la profundidad del agua está relacionada con la profundidad crítica, por la ecuación de White:

$$h1 = \frac{\sqrt{2}hc}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{hc} + 1,5}} \quad \text{Ec. 1.5.1-5}$$

Dónde:

h<sub>1</sub>: Profundidad supercrítica (m)

hc : profundidad crítica de flujo

P: altura del vertedero

- La velocidad del agua en el salto se calcula por la ecuación:

$$V1 = \frac{q}{h_1} \quad \text{Ec. 1.5.1-6}$$

Dónde:

q: caudal, por unidad de ancho del vertedero

h<sub>1</sub>: profundidad antes del resalto

- El número de FROUDE es un número adimensional que en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico, el tipo de resalto que da mejores condiciones para la mezcla rápida es el estable es decir cuando número de Froude oscila entre 4,5 y 9,0.

$$F1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} \quad \text{Ec. 1.5.1-7}$$

Dónde:

g : gravedad

h1: profundidad antes del resalto

V1: velocidad de entrada al resalto

- La profundidad subcrítica se determina mediante la siguiente expresión:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F^2} - 1 \right) \quad \text{Ec. 1.5.1-8}$$

Dónde:

h1: profundidad antes del resalto

F1: número de Froude

- La velocidad del agua en el resalto se calcula por la siguiente ecuación:

$$V1 = \frac{q}{h_2} \quad \text{Ec. 1.5.1-9}$$

Dónde:

q: caudal, por unidad de ancho del vertedero

h2: profundidad después del resalto

- La pérdida de energía en el resalto, se puede calcular por la fórmula de Belanger:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} \quad \text{Ec. 1.5.1-10}$$

Dónde:

h1: profundidad antes del resalto

h2: profundidad después del resalto

- La longitud del resalto, para resalto estable, se calcula por la fórmula de Smetana:

$$Lj = 6(h_2 - h_1) \quad \text{Ec. 1.5.1-11}$$

Dónde:

h1: profundidad antes del resalto

h2: profundidad después del resalto

- La velocidad media en el resalto está dada por:

$$V_m = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \quad \text{Ec. 1.5.1-12}$$

Dónde:

V1: velocidad de entrada al resalto

V2: velocidad de salida al resalto

- El tiempo de mezcla o retención es el tiempo en el cual el agua cruda va a estar en contacto con el coagulante y se calcula por la ecuación:

$$T_m = \frac{L_j}{V_m} \quad \text{Ec. 1.5.1-13}$$

Dónde:

Lj: longitud del resalto

Vm: velocidad media en el resalto

- El gradiente de velocidad puede calcularse con la ecuación siguiente:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu T_m}} \quad \text{Ec. 1.5.1-14}$$

Donde.

$\gamma$ : peso específico del agua

h: pérdida de energía en el resalto

$\mu$ : Viscosidad dinámica del agua

### 1.5.1.1 Consideraciones Adicionales

**Tabla 2-1: Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera de Presión**

Temperatura °C	Densidad $\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Viscosidad dinámica $\mu$ 10 <sup>-3</sup> Pa s	Viscosidad cinemática $\nu$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
10	999,703	9,804	1,307	1,307
12	999,500	9,802	1,235	1,236
15	999,103	9,798	1,139	1,139
17	998,778	9,795	1,081	1,082
18	998,599	9,793	1,053	1,054
19	998,408	9,791	1,027	1,029
20	998,207	9,789	1,002	1,004

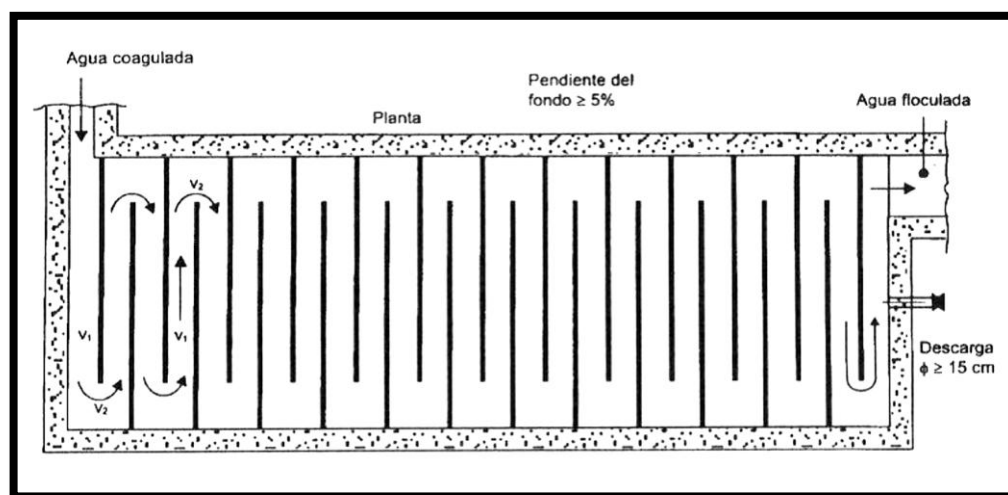
Fuente: <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/PropiedadesFisicasAgua.htm>

**Tabla 3-1: Parámetros de Diseño de Vertederos Rectangulares**

Parámetro	Valor	Unidad
Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua, H	0,05 (mínimo)	M
Altura de la pared del vertedero para un resalto estable, P	0,50 (mínimo)	M
Rangos del Número de Froude, F	4,5-9	-

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. 2004

### 1.5.2 Floculador Hidraulico de flujo horizontal



**Figura 3-1: Floculador Horizontal**

Fuente: (Romero, 2006)

Son usados para plantas de tratamiento pequeñas de caudales menores a 50 L/s. En este tipo de floculadores, el agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno. Se encuentra separado por pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas.

- Distancia total recorrida: (L)

Para un periodo de mezcla, t, y una velocidad de flujo, v, la distancia total recorrida por el agua es:

$$L = v \times t \quad \text{Ec. 1.6.2-1}$$

Dónde:

L: Longitud total recorrida por el agua (m)

v: Velocidad de flujo (m/s)

t: Tiempo de mezcla o retención (s)

- Volumen de agua a mezclar cada 20 min: (V)

El volumen de agua que hay que mezclar en un periodo de tiempo, t, es:

$$V = Q \times t \quad \text{Ec. 1.6.2-2}$$

Dónde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

t: tiempo (min)

- La sección o área transversal requerida de un canal entre baffles está dada por la ecuación:

$$A = \frac{Q}{v_2} \quad \text{Ec. 1.6.2-3}$$

Dónde:

A: Sección a área transversal requerida de los canales (m)

- La profundidad del agua puede calcularse con la siguiente expresión:

$$d = \frac{A}{a} \quad \text{Ec. 1.6.2-4}$$

Dónde:

d: Profundidad del Agua (m)

a: separación entre baffles (m)

- Se considera a la distancia entre los baffles o tabiques y la pared del tanque, y es 1,5 veces la separación entre tabiques y está definida por la siguiente ecuación:

$$e = 1,5 \times a \quad \text{Ec. 1.6.2-5}$$

Dónde:

e: Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque (m)

a: Separación entre tabiques (m)

- La longitud efectiva de cada canal se calcula por la siguiente ecuación:

$$l = B_f - e \quad \text{Ec. 1.6.2-6}$$

Donde:

l: Longitud efectiva de cada canal (m)

B<sub>F</sub>: Ancho del floculador (m)

- El número requerido de canales se calcula por la ecuación:

$$N = \frac{L}{l} \quad \text{Ec. 1.6.2-7}$$

Dónde:

N: Número de canales (adimensional)

- La longitud total interior de la cámara de floculación viene dada por la siguiente expresión:

$$L_T = N * a + (N - 1)b \quad \text{Ec. 1.6.2-8}$$

Dónde:

L<sub>T</sub>: Longitud total de la cámara de floculación (m)

b: Espesor de la lámina o tabique (m)

- El radio hidráulico, es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado.

Su cálculo está en función de la forma geométrica de la sección transversal del canal, en este caso es una sección de tipo rectangular, por lo tanto para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A}{2d + a} \quad \text{Ec. 1.6.2-9}$$

Dónde:

R: Radio hidráulico (m)

- Las pérdidas por fricción se generan a lo largo de los canales o en los tramos rectos y se calculan a partir de la ecuación de Manning:

$$h_f = \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}} \quad \text{Ec. 1.6.2-10}$$

Dónde:

$h_f$ : La pérdida por fricción en el tanque (m)

v: Velocidad (m/s)

L: Distancia total recorrida por el agua (m)

n: Coeficiente de Fricción

R: Radio hidráulico del canal

- Las pérdidas adicionales son aquellas que se generan principalmente en las vueltas o giros que da el agua al pasar de un canal a otro.

$$h = \frac{K(N-1)v^2}{2g} \quad \text{Ec. 1.6.2-11}$$

Dónde:

$h_a$ : pérdida adicional por curvas en el canal (m)

N-1: número de tabiques o baffles

v: velocidad promedio de flujo

k: Constante empírica (2 a 4, comúnmente 3)

- La pérdida total será: (H)

$$H = h_f + h \quad \text{Ec. 1.6.2-12}$$

- El gradiente de velocidad da más tiempo para que las partículas por efecto de la gravedad descendan y se acumulen en el fondo del tanque.

$$G = \sqrt{\frac{gH}{\nu t}} \quad \text{Ec. 1.6.2-13}$$

Donde:

H: pérdida de carga total (m)

t: tiempo de mezcla (min)

$\mu$ : Viscosidad Cinemática del agua a 15° C ( $m^2/s$ )

g: Gravedad ( $m/s^2$ )

- El número adimensional de Camp puede calcularse por la ecuación:

$$Gt = G * t \quad \text{Ec. 1.6.2-14}$$

### 1.5.2.1 Consideraciones Adicionales

**Tabla: 4-1 Parámetros de diseño para floculadores hidráulicos de tabiques**

Criterio	G ( $s^{-1}$ )	t (min)	$G_t$	v (m/s)	$h_T$
Smethurst	20 – 100	10 – 60	20000 – 150000	0,15 – 0,50	0,15 – 0,60
Arboleda	10 – 100	15 – 20	-	0,10 – 0,60	-
Insfopal	-	15 – 60	-	0,15 – 0,45	-
Hardenbergh y Rodie	-	20 – 50	-	0,15 – 0,45	-
Fair y Geyer	-	10 – 90	-	0,10 – 0,90	0,30 – 0,90
Awwa	5 – 100	10 – 60	30000 – 150000	0,09 – 0,30	-
Cepis	10 – 100	10 – 60	-	0,10 – 0,60	-
RAS 2000	20 – 70	20 – 30	-	0,20 – 0,60	-

Fuente: VILLEGAS, M. P. Purificación Aguas.



**Tabla 5-1: Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning**

Material	Coeficiente de Manning (n)
Asbesto – cemento	0,012
Latón	0,011
Hierro fundido	0,012
Concreto (cimbra metálica)	0,011
Concreto (cimbra madera)	0,015
Concreto simple	0,013
Cobre	0,011
Acero corrugado	0,022
Plástico (PVC)	0,009
Madera (duelas)	0,012
Vidrio (laboratorio)	0,011

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/152131826/Coeficientes-de-Rugosidad-Haestad-pdf>

**Tabla 6-1: Parámetros de Diseño de Floculadores de Tabiques**

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de mezcla o de retención, t	20 (promedio)	min
Ancho útil de la cámara de floculación, Bf	4,5	m
Factor de seguridad para el tanque, fs	10 (recomendado)	%
Distancia entre baffles, a	0,15 (recomendado)	m
Espesor de cada tabique, b	3 (recomendado)	cm
Constante empírica para calcular pérdidas adicionales, k	3	-

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua.

### 1.5.2.2 Dosificación del PAC

$$X = \frac{Q * C}{\%P * \rho} \quad \text{Ec. 1.6.2.2-1}$$

Dónde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/min)

C= Concentración de acuerdo a la prueba de jarras (ppm)

%P= Porcentaje de dilución

ρ = Densidad del PAC (1.24 Kg/L)

### 1.5.3 Sedimentación Laminar de Placas

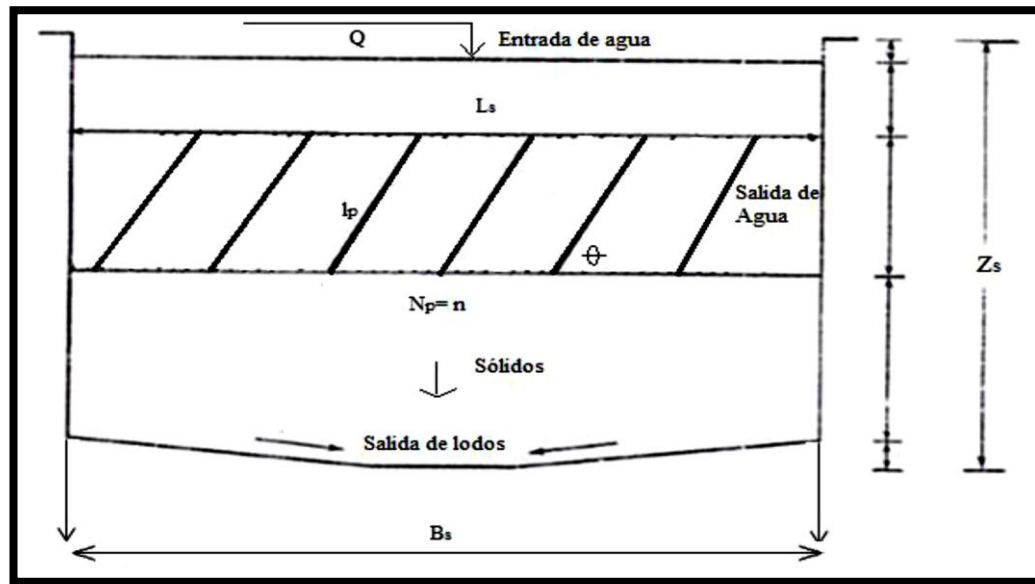


Figura 4-1: Sedimentador laminar  
Fuente: VILLEGAS, M. P. Purificación de Aguas.

Una vez culminado el proceso de floculación el agua en tratamiento es sometida a un proceso de sedimentación con la finalidad de sedimentar los flóculos que se han producido en la etapa previa

- **Carga Superficial**

Se la puede calcular mediante la siguiente formula, la cual describe la velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación.

$$V_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}} \quad \text{Ec. 1.6.3-1}$$

Dónde:

$V_{so}$ : Carga superficial después de instalar las placas (m/min).

$l_p$ : longitud de las placas (m)

$t_{rp}$ : tiempo de retención en las placas (min)

- **Área de sedimentación acelerada**

$$A_s = \frac{Q}{V_{so} \sin \theta} \quad \text{Ec. 1.6.3-2}$$

Dónde:

As: Área superficial de sedimentación acelerada (m<sup>2</sup>)

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/d)

Θ: Angulo de inclinación del elemento de sedimentación.

- Longitud del área de sedimentación acelerada

$$L_s = \frac{A_s}{B_s} \quad \text{Ec. 1.6.3-3}$$

Dónde:

L<sub>s</sub>: Longitud del área de sedimentación acelerada (m)

B<sub>s</sub>: Ancho del sedimentador (m)

- Longitud relativa del sedimentador

$$L_r = \frac{l_p}{e_p} \quad \text{Ec. 1.6.3-4}$$

Dónde:

L<sub>r</sub>: Longitud relativa del sedimentador (adimensional)

e<sub>p</sub>: Distancia entre placas (m)

- Longitud relativa en la región de transición

La longitud de transición que es la región donde el flujo uniforme se va convirtiendo en laminar se la puede calcular mediante la ecuación de Schulze:

$$L' = \frac{0,013 v_o e_P}{v} \quad \text{Ec. 1.6.3-5}$$

Dónde:

L': Longitud relativa en la región de transición (adimensional)

v: Viscosidad cinemática del fluido (m<sup>2</sup>/s)

- Longitud relativa corregida

$$\begin{aligned} L_C &= 2(L_r - L') & \text{Si } L' > L_r/2 \\ L_C &= L_r - L' & \text{Si } L' \leq L_r/2 \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.6.3-6}$$

Dónde:

$L_c$ : Longitud relativa corregida (adimensional)

- Velocidad crítica de sedimentación es: ( $V_{sc}$ )

$$v_{sc} = \frac{S_c v_{so}}{\sin \theta + L_c \cos 60} \quad \text{Ec. 1.6.3-8}$$

Donde:

$v_{sc}$ : Velocidad crítica de sedimentación (m/d)

$S_c$ : Constante para cada tipo de módulo (adimensional)

$v_{so}$ : Velocidad media de flujo en las placas o carga superficial después de instalar las placas (m/d)

- Número de Reynolds: ( $N_{RE}$ )

$$N_{RE} = \frac{v_{so} e_p}{u} \quad \text{Ec. 1.6.3-9}$$

Dónde:

$N_{Re}$ : Número de Reynolds (adimensional)

- Volumen del sedimentador

$$V_{TS} = Ls * Bs * Zs \quad \text{Ec. 1.6.3-10}$$

Dónde:

$V_{Ts}$ : Volumen del sedimentador ( $m^3$ )

$Z_s$ : Altura del sedimentador (m)

- Tiempo de retención en el tanque de sedimentación: ( $t_{RC}$ )

$$t_{RS} = \frac{V_{TS}}{Q} \quad \text{Ec. 1.6.3-11}$$

Dónde:

$t_{Rs}$ : Tiempo de retención en el tanque de sedimentación (min)

$Q$ : Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

- Número de placas

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \sin \theta + e_p}{e_p + b_p} \quad \text{Ec. 1.6.3-12}$$

Dónde:

$N_p$ : Número de placas (adimensional)

$b_p$ : Espesor de las placas (m)

### 1.5.3.1 Consideraciones Adicionales

**Tabla 7-1: Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares**

Parámetro	Valor
Tiempo de retención en las placas ( $t_{rp}$ )	15 – 25 min
Número de Reynolds ( $N_{Re}$ )	< 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun)
Ángulo de Inclinación de las placas ( $\theta$ )	60°
Distancia entre placas ( $e_p$ )	5 cm
Altura sugerida del Sedimentador ( $Z_s$ )	3 – 5 m
Pendiente del fondo	> 2%

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

**Tabla 8-1: Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto – Cemento**

Parámetro	Valor
Longitud ( $l_p$ )	1,20 m
Ancho ( $B_s$ )	2,40 m
Espesor ( $b_p$ )	0,01 m

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

**Tabla 9-1: Valores de  $Sc$  Típicos**

Tipo de módulo	$Sc$
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,30
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

**Tabla 10-1: Tipos de Flujo según el Número de Reynolds**

<b>NRE</b>	<b>TIPO DE FLUJO</b>
< 2000	Laminar
2000-4000	Transición
> 4000	Turbulento

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua.

#### **1.5.4 Filtros**

En las plantas pequeñas el número mínimo es generalmente dos y aun no si existe suficiente almacenamiento de agua tratada para lavado del filtro y para las necesidades de consumo durante la puesta fuera de servicio del filtro. Morril y Wallace, sugirieron la expresión siguiente para calcular el número de filtros N:

$$N = 0,44\sqrt{Q}$$

Ec. 1.6.4-1

Dónde:

Q: caudal de la planta m<sup>3</sup>/día

## **CAPITULO II**

### **2 PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1 Localizacion de la Investigacion**

El Rediseño de la planta de tratamiento de Agua Potable se realizó en la Regional 2 de Septiembre, comunidad correspondiente a la Parroquia Columbe del Cantón Colta, provincia de Chimborazo.

La parte experimental inicio con el reconocimiento de la planta de tratamiento de agua potable y sus fuentes de abastecimiento, luego se realizó una evaluación visual de los procesos de potabilización y determinación de puntos de muestreo.

Una vez realizada la inspección y seleccionados los puntos de muestreo se realizó la caracterización del agua captada y tratada en el laboratorio de agua del cantón Colta, para de esta manera iniciar la evaluación de carácter técnica del sistema de potabilización y proponer las alternativas para mejorar el sistema de tratamiento de agua con la finalidad de brindar agua de mejor calidad para las comunidades beneficiarias de este sistema.

##### **2.1.1 Metodologia**

Con la finalidad de obtener una caracterización verídica se recogió tres muestras significativas de agua durante un mes, dichas muestras fueron trasladadas y analizadas en el Laboratorio de Análisis de Agua del Cantón Colta el mismo día donde se aplicaron análisis físico- químico y microbiológicos para determinar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011.

## **2.2 Métodos y Técnicas**

### **2.2.1 Métodos**

La presente investigación tiene un estudio tanto teórico como experimental para obtener la mejor metodología que se aplicara en el transcurso del proceso.

#### **2.2.1.1 Método Inductivo**

El método inductivo se relaciona generalmente con la investigación cualitativa, dicha investigación evita la cuantificación, se basa en registros narrativos de los fenómenos que son estudiados mediante técnicas como la observación y las entrevistas.

#### **2.2.1.2 Método Deductivo**

El método deductivo está asociado frecuentemente con la investigación cuantitativa en esta se recoge y analiza datos cuantitativos sobre variables, en el caso del agua hace referencia a las concentraciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

#### **2.2.1.3 Método Experimental**

El método experimental aplicado al tema, se define por:

El planteamiento del problema y las posibles soluciones del mismo, observar el estado actual del Sistema de Agua Potable en la Regional 2 de Septiembre, Cantón Colta, plantear la metodología adecuada para la reducción de los sólidos suspendidos en el proceso de sedimentación.



**Tabla 1-2: Descripción de Métodos de Análisis**

DETERMINACIONES	TECNICA	UNIDAD MEDIDA	METODOS
FÍSICAS	Turbiedad pH Temperatura Conductividad Sólidos Totales Disueltos Color Caudal Tiempo	NTU — °C us/cm. mg/L Pt-Co m³/s s	Turbidímetro Potenciométrico Termómetro Conductómetro Conductómetro FotometroHach Volumétrico Cronómetro
QUÍMICAS	Nitratos Nitritos Hierro Manganeso Amonio Flúor Fosforo Calcio Cloruros Alcalinidad Total Dureza Total	mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010 Espectrofotómetro Volumétricos y/o Espectrofotómetro Hach DR/2010
MICROBIOLÓGICAS	Coliformes Totales Coliformes Fecales Echericha	NMP/100ml NMP/100ml NMP/100ml	Método por Filtro de Membrana

Elaborado por: Jonatan Andrade

### 2.2.2 Técnicas

**Tabla 2-2: Descripción de las técnicas de Análisis**

PARAMETRO	FUNDAMENTO	CALCULO	REPORTE DE RESULTADO
pH	Representa la concentración de iones $H_3O^{+1}$ para un sistema en solución	$pH=[H_3O^{+1}]$	$0 \leq pH \leq 14$
Color	Está determinado por la presencia de desechos orgánicos, solidos suspendidos y desechos industriales	Lectura directa	$\mu S/cm$
Turbiedad	Se mide la turbidez formada por partículas suspendidas en un líquido, mediante la difusión de un rayo de luz tomando como medida la luz reflejada por las partículas en un ángulo de $90^\circ$ con respecto al rayo.	Lectura directa	FTU-NTU
Conductividad	Capacidad que presenta el agua para conducir la corriente eléctrica, está influenciada por la cantidad de solidos disueltos en el agua	Lectura directa	Upt-co
Sólidos Totales	Está representado por la cantidad de solidos disueltos en el agua	Lectura directa	mg/L
Hierro	Determina la cantidad de $Fe^{+2}$ presente en la muestra de agua	Lectura directa	mg/L
Nitrato	Está determinada por la presencia de iones ( $NO_3^-$ ) en el agua	Lectura directa	mg/L
Nitrito	Se determinan ya que forman un colorante azoico de coloración morado-rojizo por aplicación de sulfanilamidadiázotado con N-(1- naftil) – dihidrocloruro de etilendiamina.	Lectura directa	mg/L
Sulfatos	El sulfato precipita en una solución de ácido clorhídrico como sulfato de bario por la adición de cloruro de bario.	El valor de la lectura del espectrofotómetro multiplicado por 177.	mg/L
Nitrógeno amoniacal	Determina la cantidad de $N-NH_3$ presente en el agua, este se produce naturalmente por descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.	Lectura directa	mg/L
Fosforo	Se determinan ya que distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico se convierten en ortofosfatos	Lectura directa	mg/L
Flúor	Determina la presencia de Fluor en el agua	Lectura directa	mg/L
Manganeso	Se refiere a la cantidad de manganeso presente en el agua, este se combina fácilmente con los iones del agua	Lectura directa	mg/L
Coliformes Totales, fecales	Está determinado por la presencia de colonias las cuales se cuantifican luego de realizar un cultivo de las mismas durante 21 H	Lectura directa	UFC/100 ml

Elaborado por: Jonatan Andrade

## 2.3 Datos Experimentales

### 2.3.1 Caudal

Se tomó 5 mediciones del agua que llega a la planta con la ayuda de un recipiente de 20 litros de capacidad y un cronometro, promediando el resultado de estas mediciones se obtuvo el caudal de trabajo de la planta de tratamiento.

**Tabla 3-2: Medición de caudal**

MEDICIONES	VOLUMEN (l)	TIEMPO (t)	CAUDAL (l/s)	CAUDAL PROMEDIO
1	20	4,08	4,90	5,03
2	20	3,59	5,57	
3	20	4,07	4,91	
4	20	4,02	4,98	
5	20	4,18	4,78	

Realizado por: Jonatan Andrade

### 2.3.2 Caracterización del Agua en condiciones de diagnóstico

La caracterización del agua se la realizo, con el agua al ingreso de la planta es decir antes del proceso de potabilización actual y con el agua que ha cumplido con el proceso de potabilización, es decir el agua que sale de la planta, posteriormente estos datos fueron validados con un análisis comparativo con resultados proporcionados por un laboratorio de servicios

**Tabla 4-2: Caracterización Físico Química y Microbiológica del agua cruda**

PARAMETROS	UNIDADES	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		PROMEDIO	LÍMITE MÁXIMO O PERMISIBLE NORMA NEN 1108:2011
		ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA	ENTRADA	SALIDA		
<b>pH</b>	[H <sup>+</sup> ]	7,86	7,80	7,73	7,71	7,96	7,94	7,83	6,5-8,5
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	μS/cm	145,9	145,0	126,5	124,0	146,3	143,8	138,58	<1250
<b>TURBIEDAD</b>	FTU-NTU	8,29	6,10	8,83	7,20	7,35	<b>6,20</b>	<b>7,33</b>	<b>5</b>
<b>COLOR</b>	Upt-co	69	67	73	72	65	60	67,65	15
<b>Sólidos Totales</b>	mg/l	69,6	67,2	60,2	59,8	69,8	68,5	65,84	1000
<b>Sulfato</b>	mg/l	53	53	4	4	2	1	19,45	200
<b>Fosfatos</b>	mg/l	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,30
<b>Nitratos</b>	mg/l	0,3	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,28	40
<b>Nitritos</b>	mg/l	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,0015	0,01
<b>Dureza Total</b>	mg/l	36	36	29	29	29	27	31	300
<b>N. Amoniacal</b>	mg/l	0,37	0,26	0,36	0,30	0,33	0,50	0,35	0,50
<b>Cloruros</b>	mg/l	3,25	3,10	2,98	2,98	3,10	3,10	3,085	250
<b>Fluoruros</b>	mg/l	0,27	0,27	0,22	0,21	0,23	0,23	0,24	1,50
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	50	47	43	40	40	20	40	250-300
<b>Hierro</b>	mg/l	1,28	1,26	1,57	1,48	1,26	1,58	1,41	0,3
<b>Manganeso</b>	mg/l	0,063	0,063	0,102	0,097	0,039	0,038	0,067	0,1
<b>Coliformes Totales</b>	UFC/100 ml	224	<2	120	<2	328	<2	---	<2
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100 ml	26	<2	25	<2	30	<2	---	<2

Elaborado por: Jonatan Andrade C.

**Tabla 5-2: Validación de los datos de caracterización**

<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>PROMEDIO CARACTERIZACIÓN</b>	<b>LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES UNACH</b>	<b>LIMITE MAXIMO PERMISIBLE NORMA INEN 1108:2011</b>
<b>pH</b>	[H <sup>+</sup> ]	7,83	7,88	6,5-8,5
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	μS/cm	138,58	99,3	<1250
<b>TURBIEDAD</b>	FTU-NTU	<b>7,33</b>	<b>3,21</b>	<b>5</b>
<b>COLOR</b>	Upt-co	<b>67,65</b>	<b>67</b>	<b>15</b>
<b>Solidos Totales</b>	mg/l	65,84	66,8	1000
<b>Sulfato</b>	mg/l	19,45	3	200
<b>Fosfatos</b>	mg/l	0,11	0,13	0,30
<b>Nitratos</b>	mg/l	0,28	23	50
<b>Nitritos</b>	mg/l	0,0015	0,01	0,02
<b>Dureza Total</b>	mg/l	31	32	300
<b>N. Amoniacal</b>	mg/l	0,35	0,57	0,50
<b>Cloruros</b>	mg/l	3,085	3,53	250
<b>Fluoruros</b>	mg/l	0,24	0,30	1,50
<b>Alcalinidad</b>	mg/l	40	40	250-300
<b>Hierro</b>	mg/l	<b>1,41</b>	<b>0,58</b>	<b>0,3</b>
<b>Manganeso</b>	mg/l	0,067	0,01	0,4
<b>Coliformes Totales</b>	UFC/100 ml	-	5000	<2
<b>Coliformes Fecales</b>	UFC/100 ml	-	2000	<2

Elaborado por: Jonatan Andrade

Mediante la comparación de los datos proporcionados por el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo y el promedio de los datos obtenidos en la caracterización del agua se puede determinar que se coincide en los parámetros que se encuentran fuera de la Norma, excepto para el caso de la Turbiedad, pero al obtener valores fuera de Norma en la caracterización se procederá a incluir a este parámetro en el presente estudio.

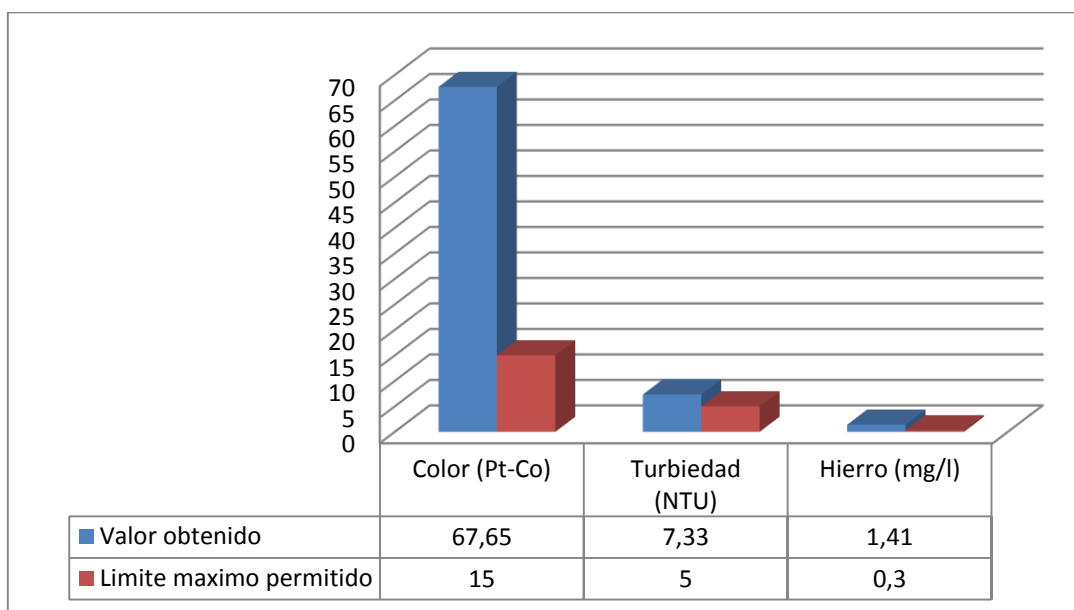
### 2.3.3 Parámetros fuera de la Norma

Mediante el proceso de caracterización del agua de la regional 2 de Septiembre del cantón Colta se evidencio los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011.

**Tabla 6-2: Parámetros fuera de norma**

PARAMETROS	UNIDADES	PROMEDIO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE NORMA NTE INEN 1108:2011
COLOR	Upt-co	67.65	15
TURBIEDAD	NTU	7,33	5
HIERRO	Mg/L	1.41	0.30

Elaborado por: Jonatan Andrade C.



**Grafico 1-2: Parámetros fuera de norma**

Elaborado por: Jonatan Andrade C.

Nota: Es importante aclarar que los parámetros Microbiológicos de las muestras tomadas a la salida de la planta de tratamiento se encuentra dentro de los límites permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011,

## **CAPITULO III**

### **REDISEÑO**

## **3 CALCULOS Y RESULTADOS**

### **3.1 Cálculos**

#### ***3.1.1 Pruebas de Tratabilidad***

Luego realizar los ensayos de caracterización del agua en el laboratorio de Agua Potable del Cantón Colta se determinó los parámetros que se encuentran fuera de la Norma NTE INEN 1108 como son Color, Turbiedad, Hierro, una vez determinados estos parámetros, se procedió con los ensayos de tratabilidad del agua con el fin de encontrar un óptimo tratamiento para dichos parámetros, y obtener un agua de buena calidad para el consumo humano.

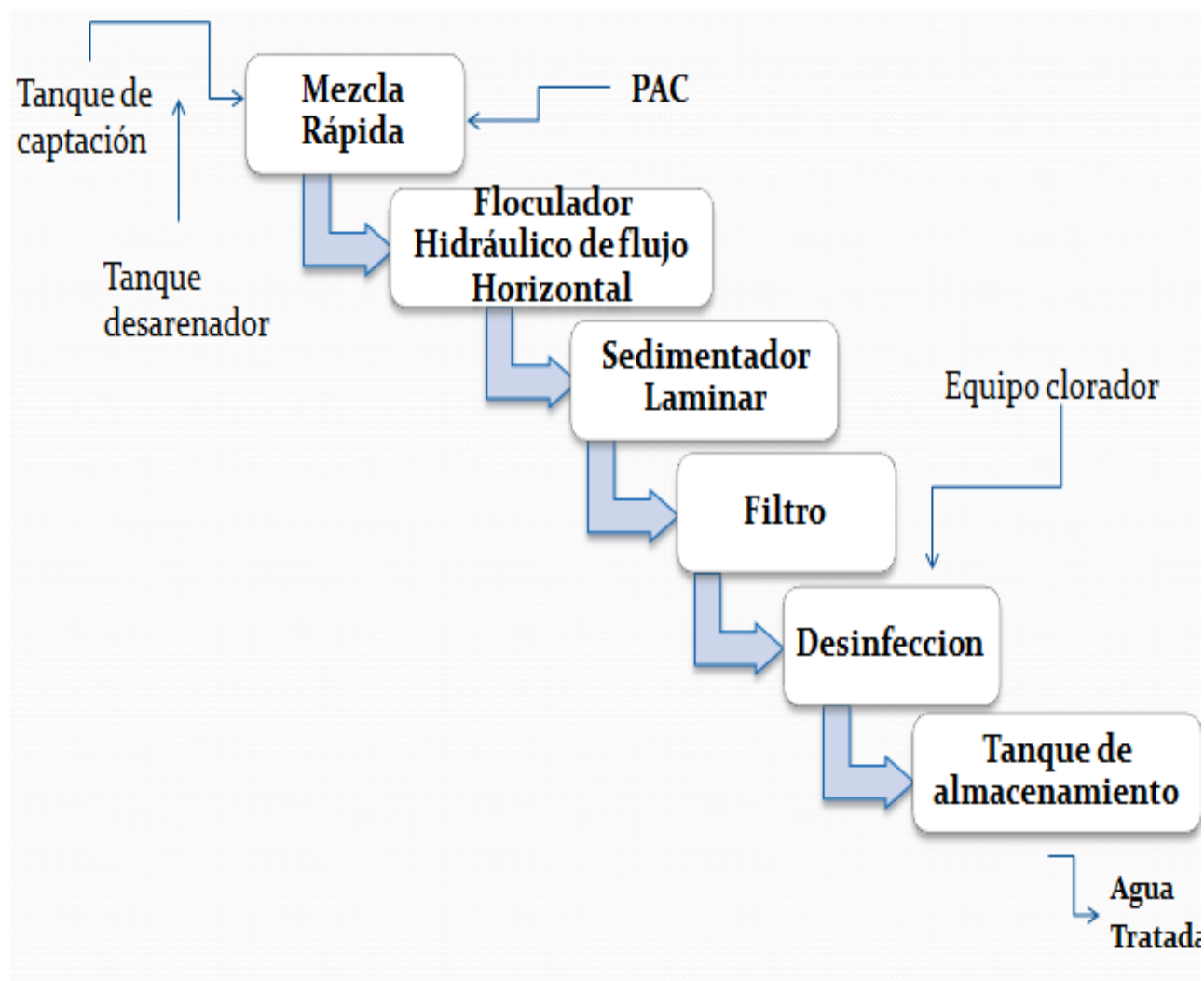
Mediante la utilización de una solución Policloruro de Aluminio en el ensayo de jarras se determinó cual es la dosis más óptima de dicho floculante/coagulante para lograr la disminución de los parámetros desfasados.

##### ***3.1.1.1 Prueba de jarras***

Durante el ensayo de jarras se utilizó una dilución de Policloruro de Aluminio al 1% y luego de probar con distintos volúmenes de esta dilución en el agua captada, se determinó que el volumen óptimo de tratamiento es 6ml de la dilución con la cual se logró ajustar los parámetros fuera de norma y además el PH no se alteró.

### 3.1.2 Propuesta

Figura 1-3: Propuesta del rediseño de la Planta de potabilización del agua



Elaborado por: Jonatan Andrade

Actualmente la planta de Potabilización de agua de La Regional 2 de Septiembre del Cantón Colta cuenta solo con los procesos de filtración y desinfección, por tanto es necesario complementar dicha planta con los procesos de Mezclado rápido, Floculación y sedimentación incluyendo la inyección del floculante coagulante PAC en el proceso, a continuación se detallan los cálculos de rediseño para cada proceso.



### 3.1.3 Dimensionamiento de las etapas de potabilización

#### 3.1.3.1 Vertedero Rectangular

##### 3.1.3.1.1 Ancho del vertedero

Datos:

$Q = 5 \text{ L/s}$

$H = 0,05 \text{ m}$  (TABLA 3-1)

$$\begin{aligned} Q &= 1.84BH^{3/2} \\ B &= \frac{0.005}{(1.84)(0,05)^{3/2}} \\ B &= 0,24m \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.5.1-1}$$

##### 3.1.3.1.2 Caudal por unidad de ancho del vertedero

$$\begin{aligned} q &= \frac{Q}{B} \\ q &= \frac{0.005m^3}{0.24} \\ q &= 0.021 \frac{m^2}{s} \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.5.1-2}$$

##### 3.1.3.1.3 Profundidad crítica del flujo

$$\begin{aligned} hc &= \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \\ hc &= \left( \frac{0,021^2}{9,8} \right)^{\frac{1}{3}} \\ hc &= 0,036m \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.5.1-3}$$

#### 3.1.3.1.4 Distancia del salto

Datos:

P= 0,5 m (TABLA 3-1)

$$Lm = 4,3P^{0.1}hc^{0.9} \quad \text{Ec. 1.5.1-4}$$

$$Lm = 4,3(0,50)^{0.1}(0,036)^{0.9}$$

$$Lm = 0,20m$$

#### 3.1.3.1.5 La profundidad antes del resalto

$$h1 = \frac{\sqrt{2}hc}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{hc}} + 1,5} \quad \text{Ec. 1.5.1-5}$$

$$h1 = \frac{\sqrt{2}(0,036)}{1,06 + \sqrt{\frac{0,60}{0,036}} + 1,5}$$

$$h1 = 0,009m$$

#### 3.1.3.1.6 Velocidad de entrada al resalto

$$V1 = \frac{q}{h_1} \quad \text{Ec. 1.5.1-6}$$

$$V1 = \frac{0,021}{0,009}$$

$$V1 = 2,38 \text{ m/s}$$

#### 3.1.3.1.7 Número de Froud

$$F1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} \quad \text{Ec. 1.5.1-7}$$

$$F1 = \frac{2,38}{\sqrt{9,8 \times 0,009}}$$

$$F1 = 8,08$$

#### 3.1.3.1.8 Profundidad luego del resalto

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right) \quad \text{Ec. 1.5.1-8}$$

$$h_2 = \left( \frac{0,009}{2} \right) \left( \sqrt{1 + 8 \times (8,08)^2} - 1 \right)$$

$$h_2 = 0,10m$$

3.1.3.1.9 Velocidad de salida al resalto

$$V_1 = \frac{q}{h_2}$$
$$V_1 = \frac{0,021}{0,10}$$
$$V_1 = 0,21 \text{ m/s}$$

Ec. 1.5.1-9

3.1.3.1.10 Pérdida de energía en el resalto

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$
$$h = \frac{(0,10 - 0,009)^3}{4 \times 0,009 \times 0,10}$$
$$h = 0,22 \text{ m}$$

Ec. 1.5.1-10

3.1.3.1.11 Longitud del resalto

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$
$$L_j = 6(0,10 - 0,009)$$
$$L_j = 0,55 \text{ m}$$

Ec. 1.5.1-11

3.1.3.1.12 Velocidad media

$$V_m = \frac{(V_1 + V_2)}{2}$$
$$V_m = \frac{(2,38 + 0,21)}{2}$$
$$V_m = 1,29 \text{ m/s}$$

Ec. 1.5.1-12

3.1.3.1.13 Tiempo de mezcla

$$T_m = \frac{L_j}{V_m}$$
$$T_m = \frac{0,55 \text{ m}}{1,29 \text{ m/s}}$$
$$T_m = 0,43 \text{ s}$$

Ec. 1.5.1-13

#### 3.1.3.1.14 Gradiente de velocidad

Datos:

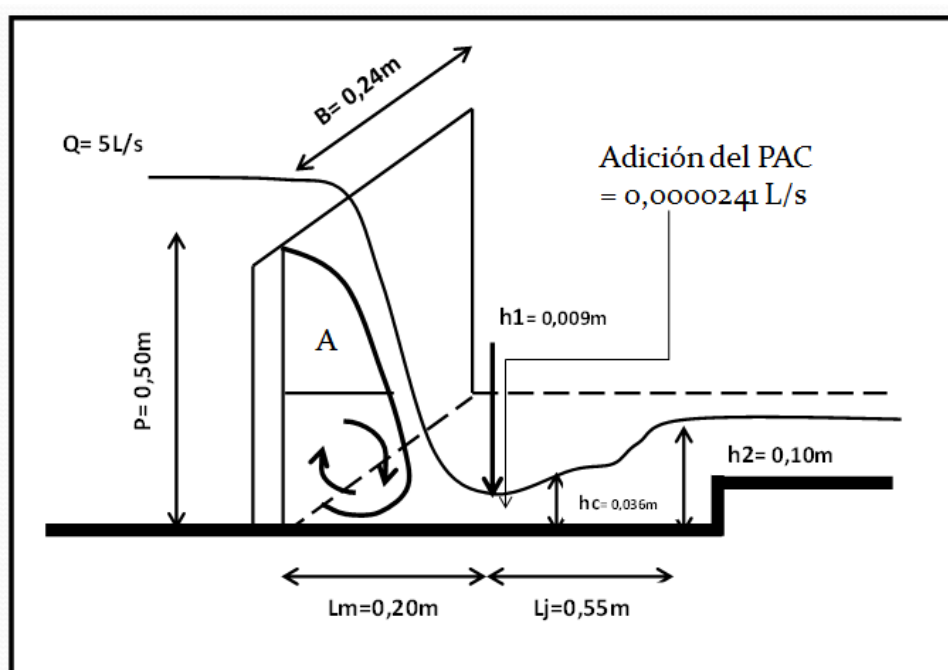
$$\gamma = 9802 \text{ KN/m}^3, 12^\circ\text{C} \text{ (TABLA 2-1)}$$
$$\mu = 1,235 \times 10^{-3} \text{ Pa s, } 12^\circ\text{C} \text{ (TABLA 2-1)}$$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu T_m}}$$

Ec. 1.5.1-14

$$G = \sqrt{\frac{9802 \times 0,22}{1,235 \times 10^{-3} \times 0,43}}$$

$$G = 2015,21 \text{ s}^{-1}$$



**Figura 2-3 Dimensiones del Mezclador con vertedero rectangular**  
Elaborado por: Jonatan Andrade

### 3.1.3.2 Floculadores Hidráulicos De Flujo Horizontal

#### 3.1.3.2.1 Distancia total recorrida

Datos:

t= 20 min (TABLA 4-1)

$$\begin{aligned}L &= v \times t \\L &= 0,21 \frac{m}{s} \times 20 \text{ min} \times \frac{60s}{min} \\L &= 252 m\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-1}$$

#### 3.1.3.2.2 Volumen de agua a mezclar

Datos:

Q= 5L/s

$$\begin{aligned}V &= Q \times t \\L &= 0,005 \frac{m^3}{s} \times 20 \text{ min} \times \frac{60s}{min} \\V &= 6 m^3\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-2}$$

#### 3.1.3.2.3 Área transversal requerida de un canal entre baffles

$$\begin{aligned}A &= \frac{Q}{V_2} \\A &= \frac{0,005}{0,21} \\A &= 0,024 m^2\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-3}$$

#### 3.1.3.2.4 Profundidad del Agua

Datos:

a= 0,15 m (TABLA 6-1)

$$d = \frac{A}{a}\quad \text{Ec. 1.6.2-4}$$

$$d = \frac{0,024}{0,15}$$

$$d = 0,16 \text{ m}$$

Para un factor de seguridad del 10%, la profundidad total del tanque será:

$$Z_{zf} = d \times fs$$

$$Z_{zf} = 0,16 \times 1,10$$

$$Z_{zf} = 0,176 \text{ m} \cong 0,18$$

#### 3.1.3.2.5 Espacio libre entre tabiques y pared del tanque

$$e = 1,5 \times a$$

Ec. 1.6.2-5

$$e = 1,5 \times 0,15$$

$$e = 0,225 \text{ m}$$

#### 3.1.3.2.6 Longitud efectiva de cada canal

Datos:

Bf= 4,5 m (TABLA 6-1)

$$l = Bf - e$$

Ec. 1.6.2-6

$$l = 4,5 - 0,3$$

$$l = 4,2 \text{ m}$$

#### 3.1.3.2.7 Número requerido de canales

$$N = \frac{L}{l}$$

Ec. 1.6.2-7

$$N = \frac{252}{4,2}$$

$$N = 60$$

Se requiere un total de 60 canales (59 tabiques)

### 3.1.3.2.8 Longitud total de la cámara de floculación

Datos:

b= 3cm (TABLA 6-1)

$$\begin{aligned}L_T &= N * a + (N - 1)b \\L_T &= (60 * 0,15) + (60 - 1)0,03 \\L_T &= 10,77 \text{ m}\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-8}$$

### 3.1.3.2.9 Radio hidráulico

$$\begin{aligned}R &= \frac{A}{2d + a} \\R &= \frac{0,024}{2(0,16) + 0,15} \\R &= 0,051\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-9}$$

### 3.1.3.2.10 Pérdida por fricción

Datos:

N= 0,013 (TABLA 5-1)

$$\begin{aligned}h_f &= \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}} \\h_f &= \frac{(0,013 \times 0,21)^2 * 252}{(0,051)^{4/3}} \\h_f &= 0,1 \text{ m}\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-10}$$

### 3.1.3.2.11 La pérdida adicional

Datos:

K= 3 (Tabla 1.5.2-3)

$$\begin{aligned}h &= \frac{K(N - 1)v^2}{2g} \\h &= \frac{3(60 - 1)0,21^2}{2 \times 9,8} \\h &= 0,4 \text{ m}\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-11}$$

#### 3.1.3.2.12 La pérdida total será

$$\begin{aligned}H &= h_f + h \\H &= 0,1 + 0,4 \\H &= 0,5m\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-12}$$

#### 3.1.3.2.13 Gradiente de velocidad

Dónde:

$t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$  (TABLA 4-1)

$\mu_{15^\circ\text{C}} = 1,139 \times 10^{-6}$  (TABLA 2-1)

$$\begin{aligned}G &= \sqrt{\frac{gH}{vt}} \\G &= \sqrt{\frac{9,8 \times 0,5}{1,139 \times 10^{-6} \times 1200}} \\G &= 59,9 \text{ s}^{-1}\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-13}$$

#### 3.1.3.2.14 El número adimensional de Camp

$$\begin{aligned}Gt &= G * t \\Gt &= 59,9 \times 1200 = 71880\end{aligned}\quad \text{Ec. 1.6.2-14}$$

#### 3.1.3.2.15 Cálculo de la dosificación de PAC

Mediante una relación se calcula el aforo de solución de PAC, además indica si se realiza una dilución o no del químico.

Datos:

$\rho_{\text{PAC}} = 1.24 \text{ Kg/L}$

$Q = 0.3 \text{ m}^3/\text{min}$



$$X = \frac{Q * C}{\%P * \rho}$$

Ec. 1.6.2.2-1

$$X = \frac{0,3 * 6}{1 * 1,24}$$

$$X = 1,45 \text{ ml/min}$$

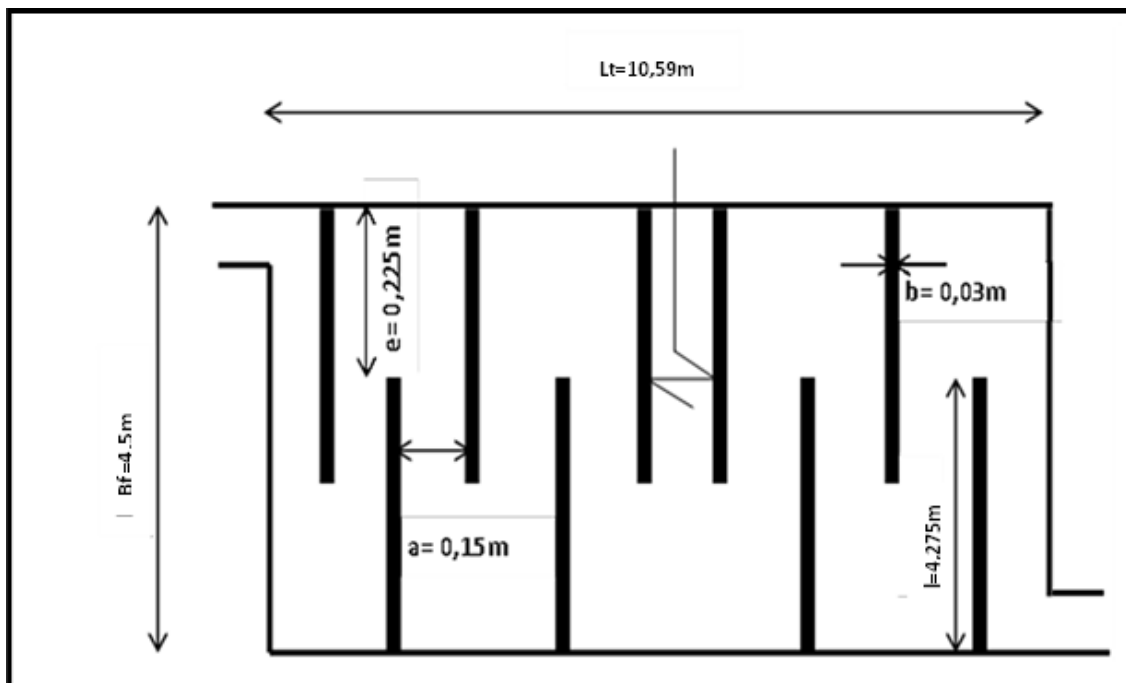
Cantidad de PAC a utilizar por día: (x)

$$x = \frac{1,45 * 60 * 24}{1000}$$

$$x = 2,08 \text{ L/dia}$$

Por tanto se requiere:

$$x = 2.58 \text{ Kg/dia}$$



**Figura 3-3: Dimensiones del Floculador Hidráulico**

Elaborado por: Jonatan Andrade

### 3.1.3.3 Diseño del Sedimentador

#### 3.1.3.3.1 Carga superficial o velocidad promedio después de instalar las placas

Datos:

$l_p = 1,20\text{m}$  (TABLA 8-1)

$t_{rp} = 20 \text{ min}$  (TABLA 7-1)

$$\begin{aligned} V_{so} &= \frac{l_p}{t_{rp}} \\ V_{so} &= \frac{1,20}{20} \\ V_{so} &= 0,06 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 86,4 \frac{\text{m}}{\text{dia}} \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.6.3-1}$$

#### 3.1.3.3.2 Área de sedimentación acelerada

Datos:

$Q = 432\text{m}^3/\text{día}$

$\Theta = 60^\circ$  (TABLA 7-1)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{Q}{V_{so} \sin \theta} \\ A_s &= \frac{432}{86,4 \sin 60} \\ A_s &= 5,77\text{m}^2 \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.6.3-2}$$

#### 3.1.3.3.3 Longitud del área de sedimentación acelerada

Datos:

$B_s = 2,40\text{m}$  (TABLA 8-1)

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{A_s}{B_s} \\ L_s &= \frac{5,77}{2,4} \\ L_s &= 2,4\text{m} \end{aligned} \quad \text{Ec. 1.6.3-3}$$

#### 3.1.3.3.4 Longitud relativa del sedimentador

Datos:

$l_p = 1,20$  m (TABLA 8-1)

$e_p = 5$  cm (TABLA 7-1)

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

Ec. 1.6.3-4

$$L_r = \frac{1,20}{0,05}$$

$$L_r = 24$$

#### 3.1.3.3.5 Longitud relativa en la región de transición

Datos:

$\mu: 1,139 \times 10^{-6}$  (TABLA 2-1)

$$L' = \frac{0,013 v_o e_P}{u}$$

Ec. 1.6.3-5

$$L' = \frac{0,013 \times 0,06 \times 0,05}{60 \times 1,139 \times 10^{-6}}$$

$$L' = 0,57m$$

#### 3.1.3.3.6 Longitud relativa corregida

$$L' \leq L_r / 2$$

Ec. 1.6.3-7

$$L_c = L_r - L'$$

$$L_c = 24 - 0,57$$

$$L_c = 23,43$$

### 3.1.3.3.7 Velocidad crítica de sedimentación

Datos:

$S_c = 1$  (TABLA 9-1)

$\theta = 60^\circ$  (TABLA 7-1)

$$v_{sc} = \frac{S_c v_{so}}{\sin \theta + L_c \cos 60} \quad \text{Ec. 1.6.3-8}$$
$$v_{sc} = \frac{1 * 86,4}{\sin 60 + 24 \cos 60}$$
$$v_{sc} = 6,71 \text{ m/d}$$

### 3.1.3.3.8 Número de Reynolds

$$N_{RE} = \frac{v_{so} e_p}{u} \quad \text{Ec. 1.6.3-9}$$
$$N_{RE} = \frac{86,4 * 0,05}{86400 * 1,139 * 10^{-6}}$$
$$N_{RE} = 44,1$$

Como podemos comprobar en la Tabla 10-1 el valor de NRE obtenido corresponde a un flujo laminar

### 3.1.3.3.9 Volumen del sedimentador

Datos:

$B_s = 2,4 \text{ m}$  (TABLA 8-1)

$Z_s = 3 \text{ m}$  (TABLA 7-1)

$$V_{TS} = L_s * B_s * Z_s \quad \text{Ec. 1.6.3-10}$$
$$V_{TS} = 2,4 * 2,40 * 3$$
$$V_{TS} = 17,28 \text{ m}^3$$

### 3.1.3.3.10 Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

$$t_{RC} = \frac{V_{TS}}{Q} \quad \text{Ec. 1.6.3-11}$$
$$t_{RC} = \frac{17,28}{0,005}$$
$$t_{RC} = 3456 \text{ s} = 57,6 \text{ min}$$

### 3.1.3.3.11 Número de placas

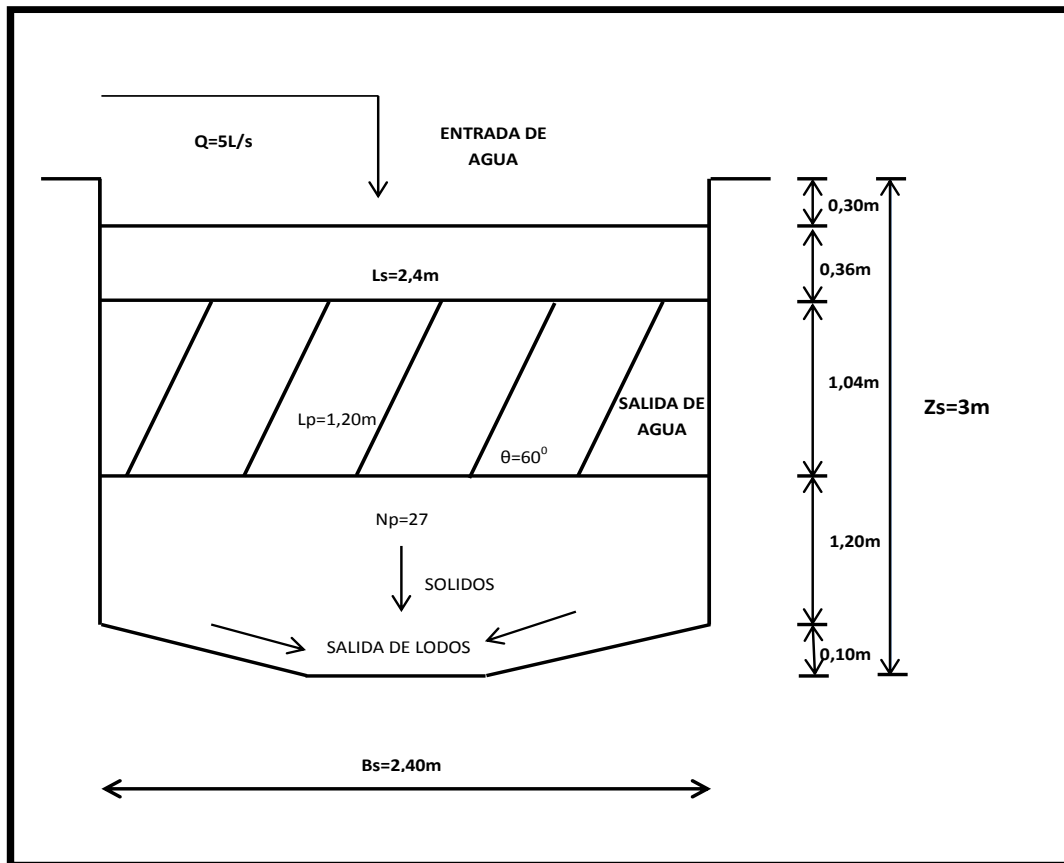
Ec. 1.6.3-12

$$Np = \frac{(Ls - lp \cos \theta) \sin \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

$$Np = \frac{[2,4 - (1,20 \cos 60) ] \sin 60 + 0,05}{0,05 + 0,01}$$

$$Np = 26,81 \cong 27$$

Realizando la aproximación se tiene un total de 27 placas en el sedimentador



**Figura 4-3 Dimensiones del sedimentador**  
**Realizado por:** Jonatan Andrade

### 3.1.3.4 Rediseño de Filtros

Datos:

$$Q = 432 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$N_F = 0,044\sqrt{Q}$$

Ec. 1.6.4-1

$$N_F = 0,044\sqrt{432}$$

$$N_F = 0,91$$

$$N_F = 1$$

El rediseño de filtros implica la aplicación de un filtro rápido para tratar el caudal ya que la planta no puede interrumpir la producción de agua cada vez que se cumpla con la carrera del filtro.

### 3.1.4 Requerimiento presupuestario

#### 3.1.4.1 Costos de Inversión

**Tabla 1-3 Costos de equipos y accesorios**

CANTIDAD	EQUIPOS/ ACCESORIOS		MATERIAL	CAPACIDAD/ DIMENSIONES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3 m	Tubería		PVC	2pulg	2,32/m	6.96
10m	Tubería		PVC	3pulg	2,42/m	24.20
3	Codo 90°		PVC	3pulg	4	12.00
4	Válvula de bola		PVC	2pulg	2	8.00
4	Válvula de bola		PVC	3pulg	3	12.00
1	Vertedero	Estructura	Hormigón armado	0,12m <sup>3</sup>	245/m <sup>3</sup>	29.00
		Bomba dosificadora de PAC	-	-	-	1 500.00
1	Floculador	Estructura	Hormigón armado	8,58 m <sup>3</sup>	245/m <sup>3</sup>	2 102.10
1	Sedimentador	Estructura	Hormigón armado	17,28 m <sup>3</sup>	245/m <sup>3</sup>	4 233.60
		Placas Planas	Asbesto-Cemento	59 Placas	16.00 c/u	944.00
TOTAL						8 871.86

Elaborado por: Jonatan Andrade.

### 3.1.4.2 Costos de Operación

**Tabla 2-3 Costos de operación por día**

REQUERIMIENTO	DOSIS	PRESENTACION	COSTO POR PRESENTACION(\$)	COSTO TOTAL(\$)
Policloruro de Aluminio	2.58 Kg/d	Sacos 120 Kg	179.20	3.55

Elaborado por: Jonatan Andrade.

### 3.1.4.3 Costos Totales

**Tabla 3-3 Costos totales**

ITEM	COSTO(\$)
Instalación Hidráulica	1 000.00
Mano de obra	2 000.00
Equipos y accesorios	8 871.86
<b>TOTAL</b>	<b>11 871.86</b>

Elaborado por: Jonatan Andrade.

## 3.2 Resultados

### 3.2.1 Resultados De Los Ensayos De Tratabilidad

**Tabla 4-3 Resultados de las pruebas de Tratabilidad**

Volumen de agua (L)	Solución de PAC al 1% (mL)	Color (Unid. Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	Hierro (mg/L)	pH
1	4	35	1,3	0,32	6,79
1	6	13	0,6	0,19	6,71
1	8	11	0,5	0,18	6,09
1	10	9	0,39	0,15	6,09
1	20	9	0,24	0,08	5,24

Elaborado Por: Jonatan Andrade C.

**Tabla 5-3 Prueba de Jarras Turbidez 6.37**

Volumen de agua (L)	Solución de PAC al 1% (mL)	Turbiedad (NTU)	pH
1	4	4.98	7.78
1	5	3.46	7.21
1	6	2.19	6.42
1	7	2.22	6.28
1	8	1.46	6.19
1	9	1.17	5.80

Elaborado Por: Jonatan Andrade C.

**Tabla 6-3 Prueba de Jarras Turbidez 8.92**

Volumen de agua (L)	Solución de PAC al 1% (mL)	Turbiedad (NTU)	pH
1	4	6.33	7.87
1	5	6.20	7.72
1	6	3.16	6.83
1	7	3.23	6.25
1	8	2.16	5.78
1	9	1.50	5.38

Elaborado Por: Jonatan Andrade C.

**Tabla 7-3 Prueba de Jarras Turbidez 11.22**

Volumen de agua (L)	Solución de PAC al 1% (mL)	Turbiedad (NTU)	pH
1	4	7.27	7.61
1	5	4.76	7.48
1	6	2.79	7.08
1	7	1.18	6.69
1	8	1.57	6.27
1	9	1.35	5.60

Elaborado Por: Jonatan Andrade C.



**Tabla 8-3 Prueba de Jarras Turbidez 16.22**

Volumen de agua (L)	Solución de PAC al 1% (mL)	Turbiedad (NTU)	pH
1	4	8.06	7.77
1	5	6.36	7.66
1	6	3.28	6.75
1	7	2.65	6.70
1	8	2.52	6.63
1	9	1.41	5.27

**Elaborado Por:** Jonatan Andrade C.

### 3.2.2 Resultados de los análisis Físico-Químicos y Microbiológicos del agua cruda y tratada

Para asegurar que el tratamiento planteado con PAC fue eficaz se realizó un análisis Físico-Químico y Microbiológico del agua tratada asegurándonos de esta manera que todos los parámetros se mantienen dentro de los límites permisibles de la Norma

**Tabla 9-3 Caracterización del agua cruda y tratada**

PARAMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE NORMA NTE INEN 1108:2011
pH	[H <sup>+</sup> ]	7,88	6,9	6,5-8,5
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	99,3	253	<1250
TURBIEDAD	FTU-NTU	3,21	0,3	5
COLOR	Upt-co	67	10	15
Sólidos Totales	mg/l	66,8	35,3	1000
Sulfato	mg/l	3	11,3	200
Fosfatos	mg/l	0,13	0,09	0,30
Nitratos	mg/l	23	34,1	50
Nitritos	mg/l	0,01	0,008	0,20
Dureza Total	mg/l	32	16	300
N. Amoniacal	mg/l	0,57	0,36	0,50
Cloruros	mg/l	3,53	5,20	250
Fluoruros	mg/l	0,30	0,22	1,50
Alcalinidad	mg/l	40	65	250-300
Hierro	mg/l	0,58	0,17	0,3
Manganeso	mg/l	0,01	0,01	0,4
Coliformes Totales	UFC/100 ml	5000	<2	<2
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	2000	<2	<2

Elaborado por: Jonatan Andrade

### 3.2.3 Resultado del dimensionamiento de las etapas de potabilización

#### 3.2.3.1 Caudal de Diseño

**Tabla 10-3 Caudal de diseño**

Calculo	Símbolo	Unidades			
		L/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /día
Caudal de diseño	(Q)	5	0,005	0,3	7,2

Elaborado por: Jonatan Andrade

#### 3.2.3.2 Vertedero Rectangular

**Tabla 11-3 Resultados vertedero rectangular**

CALCULO	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Longitud	Lm	0,20	m
Ancho del vertedero	B	0,24	m
Caudal por unidad de ancho del vertedero	q	0,021	m <sup>2</sup> /s
Altura crítica	hc	0,036	m
Profundidad antes del resalto	h1	0,009	m
Velocidad de entrada al resalto	V1	2,38	m/s
Número de Froude	F	8,08	
Profundidad luego del resalto	h2	0,10	m
Velocidad de salida al resalto	V2	0,21	m/s
Pérdida de energía en el resalto	H	0,22	m
Longitud del resalto	Lj	0,55	m
Velocidad media	Vm	1,29	m/s
Tiempo de mezcla	tm	0,43	s
Gradiente de velocidad	G	2015,21	s <sup>-1</sup>

Elaborado por: Jonatan Andrade

### 3.2.4 Floculadores Hidráulicos

**TABLA 12-3 Resultados Floculador hidráulico**

CALCULO	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Distancia total recorrida	L	252	m
Volumen de agua	V	6	m <sup>3</sup>
Área transversal de los canales	A	0,024	m <sup>2</sup>
Profundidad del agua	d	0,16	m
Profundidad total del tanque de floculación	Z <sub>TF</sub>	0,18	
Espacio libre entre el tabiques y pared del tanque	e	0,225	m
Ancho del floculador	B <sub>f</sub>	4,5	m
Longitud efectiva de cada canal	l	4,2	M
Numero requerido de canales	N	60	
Longitud total de la cámara de floculación	L <sub>T</sub>	10,77	m
Radio Hidráulico	R	0,051	m
Perdida por fricción en el tanque	h <sub>f</sub>	0,1	m
Pérdida adicionales	h <sub>a</sub>	0,4	m
Pérdidas Totales	H	0,5	m
Gradiente de velocidad	G	59,9	s <sup>-1</sup>
Número adimensional de Camp	G <sub>t</sub>	71880	

Fuente: Jonatan Andrade

**Tabla 13-3 Resultados Dosificación de PAC**

CALCULO	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Concentración del PAC	(C)	6	ppm
Densidad del PAC	(ρ)	1,24	Kg/L
Dosificación de PAC	(X)	1,45	mL/min
		2,08	L/d
		2,58	Kg/día

fuente: jonatan andrade

### 3.2.5 Sedimentadores

**Tabla 14-3 Resultados del Sedimentador**

CALCULO	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Carga superficial	$V_{SO}$	86,4	m/día
Área de Sedimentación Acelerada	$A_S$	5,77	m <sup>2</sup>
Longitud del Área de Sedimentación Acelerada	$L_S$	2,4	m
Longitud Relativa del Sedimentador	$L_T$	24	-
Longitud Relativa en la Región de Transición	$L'$	0,57	-
Longitud Relativa Corregida	$L_c$	23,43	-
Velocidad Critica de Transición	$v_{SCE}$	6,71	m/d
Numero de Reynolds	$N_{RE}$	44,1	-
Volumen del Sedimentador	$V_{TS}$	17,28	m <sup>3</sup>
Tiempo de Retención	$t_{RC}$	57,6	min
Número de Placas	$N_p$	27	-

Fuente: Jonatan Andrade

### 3.2.6 Filtros

**Tabla 15-3 Resultados de Filtros**

CALCULO	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal total de tratamiento	$Q$	432	m <sup>3</sup> /día
Número de filtros totales	$N_F$	1	-

Fuente: Jonatan Andrade

## 3.3 Análisis y discusión de los resultados

- Una vez determinado que los valores que se encuentran fuera del límite de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 son: el color 67,65 (Pt-Co); turbiedad 7,33 NTU; hierro 1,41 mg/L, obtenidos en la caracterización Físico-Química y Microbiológica de un promedio

de 6 muestras de agua analizadas como se especifica en la TABLA 4-2 y TABLA 6-2, posteriormente dichos valores fueron validados con un análisis realizado en un Laboratorio de Servicios Ambientales como se muestra en la TABLA 5-2, realizando una comparación entre ambos resultados se coincide en los parámetros fuera de Norma, excepto para el caso de la turbiedad, pero al encontrarse fuera de los límites permisibles en la caracterización se incluyó este parámetro en la presente investigación.

- Como alternativa para regular los parámetros que no cumplen con los criterios de la Norma se aplicó el ensayo o prueba de jarras utilizando una solución de Policloruro de Aluminio al 1%, tratando con distintas dosis de dicha solución se determinó que añadiendo 6 ml de la misma en un litro de agua cruda se reducen los valores de los parámetros que se encuentran fuera de Norma determinados anteriormente como se indica en la TABLA 1-3, posteriormente se valida dichos valores con un análisis realizado en un laboratorio de Servicios Ambientales comprobando la idoneidad del tratamiento químico y que el resto de parámetros no se hayan alterado según lo descrito en la TABLA 2-3.
- Durante la ejecución de los ensayos de tratabilidad se trabajó con distintas dosificaciones de la solución de PAC al 1% hasta obtener valores para los parámetros fuera de Norma que se ajusten a los establecidos en los límites permisibles de la Norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108-2011, con se indica en el GRAFICO 1-3 para color, en el GRAFICO 2-3 para turbiedad, en el GRAFICO 3-3 para hierro, y en el GRAFICO 4-3 para el caso del pH, comparando las distintas concentraciones de PAC y los valores de color, turbiedad, hierro y pH obtenidos con cada una de estas concentraciones.

## CONCLUSIONES

- Actualmente la planta de tratamiento no consta de los elementos y procesos necesarios para cumplir con una óptima potabilización del agua, ya que según los resultados de la caracterización físico-químico y microbiológica del agua cruda; es indispensable incluir los procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación para potenciar la operación de la planta, lo cual queda evidenciado luego de realizar la caracterización del agua tratada y los cálculos de rediseño.
- Luego de realizar la caracterización físico químico y microbiológico del agua que ingresa a la planta se determinó que tanto la turbiedad, color y hierro presentaban valores fuera de los rangos establecidos en la Norma INEN NTE 1108-2011.
- Una vez determinado los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles de la Norma INEN NTE 1108-2011, se procedió con los ensayos de tratabilidad utilizando el coagulante PAC en una concentración del 1% para lo cual se realizaron varias verificaciones hasta obtener la dosificación más adecuada del producto. Se determinó que trabajando que con 6 ml de disolución se logró disminuir el valor de los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles obteniendo los siguientes resultados Color: 13 (Unid. Pt-Co); Turbiedad: 0,6 (NTU) ; Hierro 0,19 (mg/L)
- Al culminar los ensayos de tratabilidad y teniendo en cuenta el estado actual de la planta se procedió a realizar el Rediseño del Sistema de Tratamiento, dicho rediseño fue realizado en función del caudal máximo de la planta y está constituido por los cálculos de ingeniería para la implementación de un tanque de mezcla rápida, un floculado hidráulico de flujo horizontal, un sedimentador de flujo laminar y la aplicación del coagulante floculante Policloruro de Aluminio, mejorando así el funcionamiento de la planta de potabilización de agua.

## **RECOMENDACIONES**

- Aplicar el estudio realizado, con la finalidad de mejorar el proceso de potabilización del agua y así entregar agua de mejor calidad a los habitantes de las comunidades de la Regional 2 de septiembre Cantón Colta
- Preservar siempre la integridad del proceso de potabilización proveyendo a la planta de todos los elementos necesarios para mantener siempre la calidad del agua tratada evitando deterioros de la planta y que el agua entre en contactos con elementos ajenos a los sugeridos en estudio actual
- Capacitar al personal que opera la planta
- Dar mantenimiento preventivo a la planta evitando daños futuros en cualquiera de sus procesos
- Mantener siempre el orden y la limpieza necesaria para asegurar la calidad del tratamiento de potabilización
- Realizar el mantenimiento periódico de los filtros y sedimentador con la finalidad de evitar la acumulación de lodos
- Equipar al laboratorio con los equipos necesarios para el monitoreo tanto del agua cruda como del agua luego del tratamiento

## BIBLIOGRAFIA


- **APHA. AWWA. WPCF.**, Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas potables y residuales., 17ª ed., Díaz de Santos., 1992, pp. 95-110.
- **ARBOLEDA, J.** Teoría y Práctica de Purificación de agua., 3ªed., Bogotá-Colombia. Graw Hill. 1999, pp. 110-126.
- **ECUADOR., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).**  
Agua- Potable – Requisitos., Norma N°1108 – 2010., Quito-Ecuador. INEN. 2010, pp. 1-8.
- **FLOCULADORES**  
[http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2\\_cap3.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap3.pdf)  
2015-02-10
- **FLOCULADOR DE FLUJO HORIZONTAL**, Villegas de Brigard, 2008  
[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido en linea Diseno de Plantas Potabilizadas/leccin 34 floculador de flujo horizontal.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadas/leccin_34_floculador_de_flujo_horizontal.html)  
2015-02-10
- **ROMERO, JAIRO.**, “Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño”, 3ª ed., Bogotá – Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004, pp. 49-246.
- **SEDIMENTACION.** Universidad Autónoma de Madrid, 2008  
[https://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf](https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf)  
2015-02-10



## ANEXO

### Anexo A: NORMA INEN 1108:2011 AGUA POTABLE

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno Es-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

CDU: 628.1.033 ICS: 13.060.20		CIU: 4200 AL 01.06-401
Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA POTABLE. REQUISITOS	NTE INEN 1 108:2011 Cuarta revisión 2011-06
<div style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></div> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.</p> <div style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></div> <p>2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.</p> <div style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></div> <p>3.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p>3.1.1 <i>Agua potable.</i> Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.</p> <p>3.1.2 <i>Agua cruda.</i> Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.</p> <p>3.1.3 <i>Límite máximo permitido.</i> Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).</p> <p>3.1.4 <i>UFC/ml.</i> Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.</p> <p>3.1.5 <i>NMP.</i> Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.</p> <p>3.1.6 <i>mg/l.</i> (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.</p> <p>3.1.7 <i>Microorganismo patógeno.</i> Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.</p> <p>3.1.8 <i>Plaguicidas.</i> Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.</p> <p>3.1.9 <i>Desinfección.</i> Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.</p> <p>3.1.10 <i>Subproductos de desinfección.</i> Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.</p> <p>3.1.11 <i>Cloro residual.</i> Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.</p> <p>3.1.12 <i>Sistema de abastecimiento de agua potable.</i> El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.</p> <div style="text-align: right;">(Continúa)</div>		
DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.		

**3.1.13 Sistema de distribución.** Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

#### 4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

**4.1** Los sistemas de abastecimiento de agua potable se acogerán al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

#### 5. REQUISITOS

##### 5.1 Requisitos específicos

**5.1.1** El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

PARAMETRO	UNIDAD	Limite máximo permitido
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
<b>Inorgánicos</b>		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN <sup>-</sup>	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 <sup>1)</sup>
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

<sup>1)</sup> Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.  
 \* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>239</sup>Pu.  
 \*\* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>129</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>228</sup>Ra.

#### Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Limite máximo permitido
<b>Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP</b>		
Benzo [a]pireno	mg/l	0,0007
<b>Hidrocarburos:</b>		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrioltriacético	mg/l	0,2

(Continúa)

**Plaguicidas**

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrin y Dieldrin	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrin	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002

**Residuos de desinfectantes**

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3

**Subproductos de desinfección**

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
<b>Trihalometanos totales</b>	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:		
• Bromodiclorometano	mg/l	0,06
• Cloroformo	mg/l	0,3
Acido tricloroacético	mg/l	0,2

**Cianotoxinas**

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

**5.1.2** El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

**Requisitos microbiológicos**

	Máximo
Coliformes fecales <sup>(1)</sup> :	
- Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
- Filtración por membrana UFC/ 100 ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
<sup>(1)</sup> ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

(Continúa)

Anexo B: HOJA TECNICA DE POLICLORURO DE ALUMINIO



中化(青岛)实业有限公司  
SINOCHEN QINGDAO CO.,LTD.

CERTIFICATE OF ANALYSIS

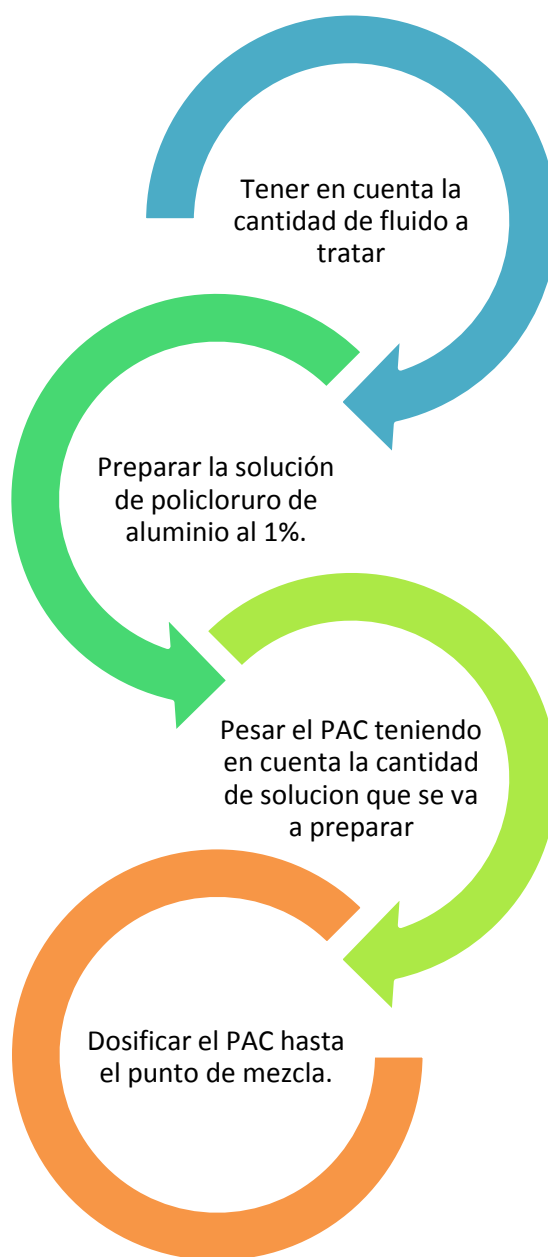
Product name		Polyaluminium Chloride	Lot Number	20130701	
The representative quantities		87mt	Inspection Date	Jul. 2, 2013	
Quality Standard , GB15892-2009					
Item		Specifications		Test Result	
Appearance		White to yellow powder		Yellow powder	
Alumina(Al2O3)/%		≥30.0		30.23	
Basicity %		40.0-----90.0		75.1	
Water insoluble quality score /%		≤0.6		0.19	
PH Value (1% water solution)		3.5---5.0		4.02	
Arsenic (As) /%		≤0.0002		<0.0002	
Lead (Pb) %		≤0.001		<0.001	
Cadmium (Cd) %		≤0.0002		<0.0002	
Mercury (Hg) %		≤0.00001		<0.00001	
Chromium (Cr <sup>+6</sup> ) %		≤0.0005		<0.0005	
Conclusion		This batch is used for PAC (solid), according with GB/15892-2009 requirements.			
Examiner	Yaru Li	Review Officer	Xiaoxia Sun	Assessor	Xiaoxia Sun

YOUR RUC ID NUMBER :1791293908001

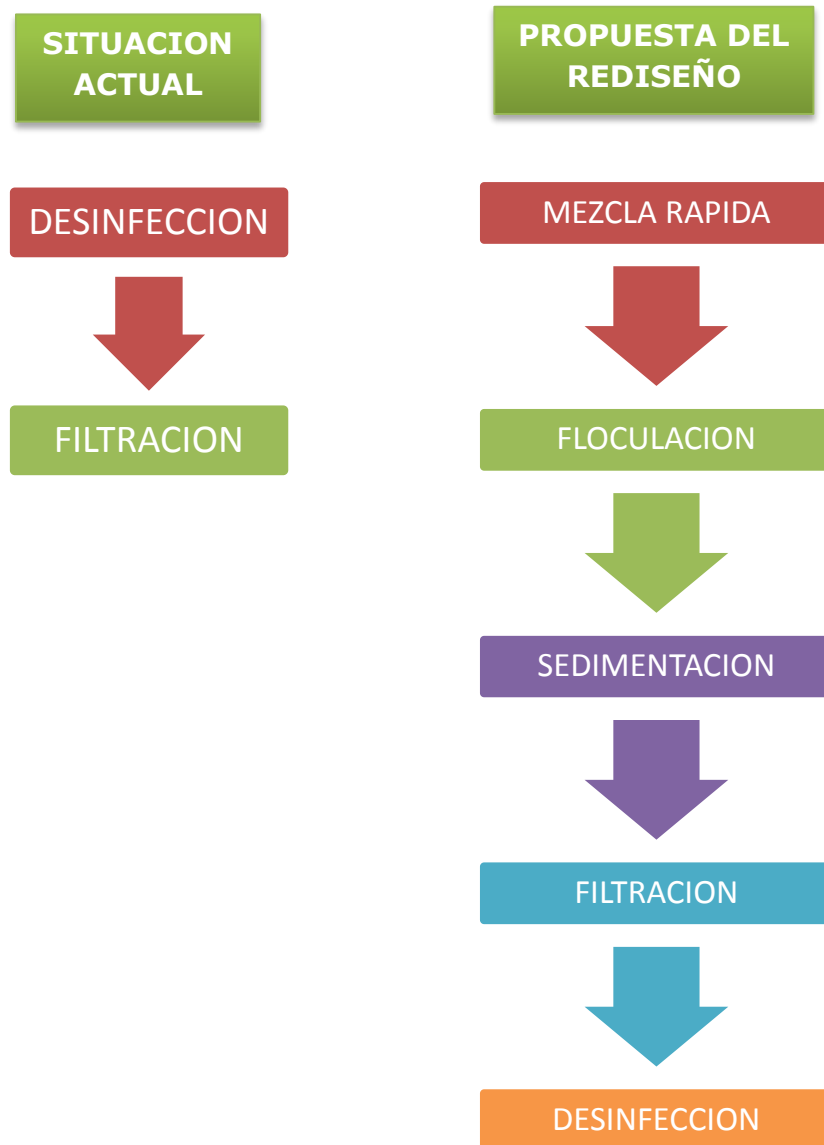
中化(青岛)实业有限公司  
SINOCHEN QINGDAO CO.,LTD.

*[Handwritten signature]*

## Anexo C: PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO



**Anexo D: Situación actual y propuesta de rediseño de la planta**

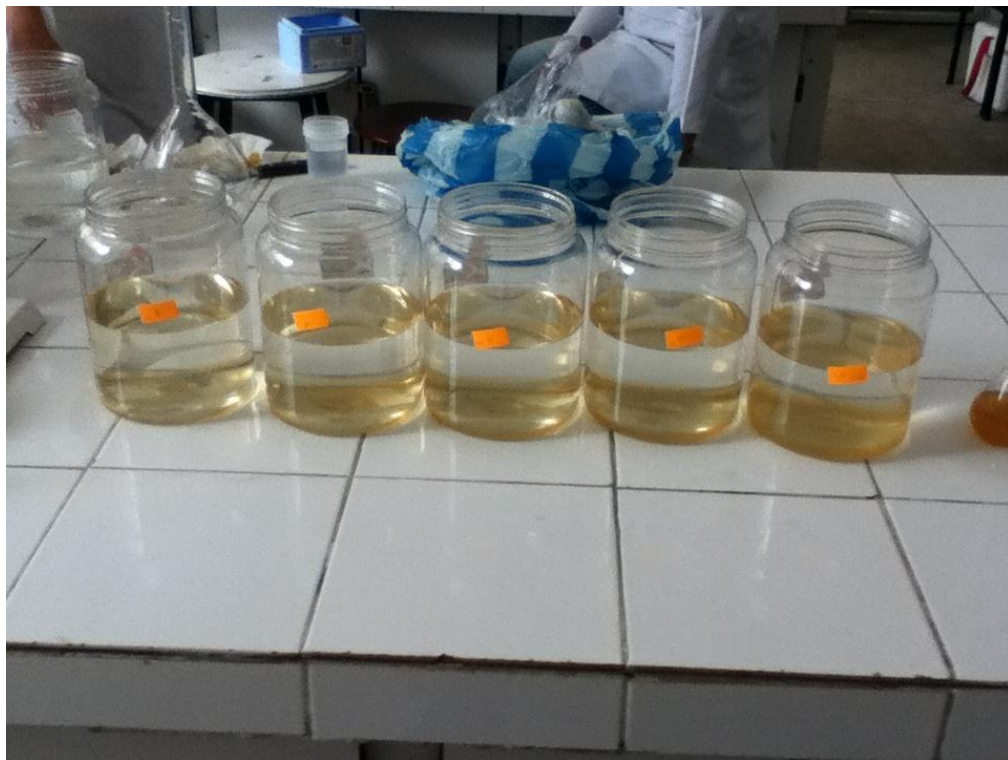


## Anexo E: PLANTA DE TRATAMIENTO ACTUAL





## Anexo F: PRUEBAS DE TRATABILIDAD





## Anexo G: ANALISIS DE AGUA DE LA ENTRADA DE LA PLANTA



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 032 – 14

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Sr. Jonatan Andrade **INFORME Nº:** 032 – 14  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 032 – 14  
**DIRECCIÓN:** Cda. Fausto Molina  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 09 – 06 – 14  
**TELÉFONO:** 0995033265 **FECHA DE INFORME:** 17 – 06 – 14

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1 Agua de consumo, acequia, Colta **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA – 072 -14 Muestra 1 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA – 072-14

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H <sup>+</sup> ]	PE-LSA-01	7.88	+/- 0,08	09-06-14
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	99,3	+/- 8 %	09-06-14
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	3,21	N/A	09-06-14
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	67	N/A	09-06-14
* Sólidos Disueltos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 D	66,8	N/A	09-06-14
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO <sub>4</sub> -E	3	N/A	09-06-14
* Fosfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E	0,13	N/A	09-06-14
* Nitratos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 NO <sub>3</sub> - E mod.	23	N/A	09-06-14
* Nitritos	mg/l	STANDARD METHODS 4500- NO <sub>2</sub> - B	0,011	N/A	09-06-14
* Nitrógeno Amoniacal	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - NH <sub>3</sub> B&C - mod	0,57	N/A	09-06-14
* Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2340 - C	32	N/A	09-06-14
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	0,10	N/A	09-06-14
* Cloro libre residual	mg Cl <sub>2</sub> /l	STANDARD METHODS 4500 - Cl G mod	0,25	N/A	09-06-14
* Hierro	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111B	0,58	N/A	09-06-14
* Cloruros	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cl E mod	3,53	N/A	09-06-14
* Fluoruros	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - F - D mod	0,30	N/A	09-06-14
* Manganeseo	mg/l	STANDARD METHODS	0,01	N/A	09-06-14

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.





## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 032 – 14

3500 Mn - 3111B					
* Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /l	STANDARD METHODS 2320 - B	40	N/A	09-06-14
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	5000	N/A	09-06-14
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	3000	N/A	09-06-14

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

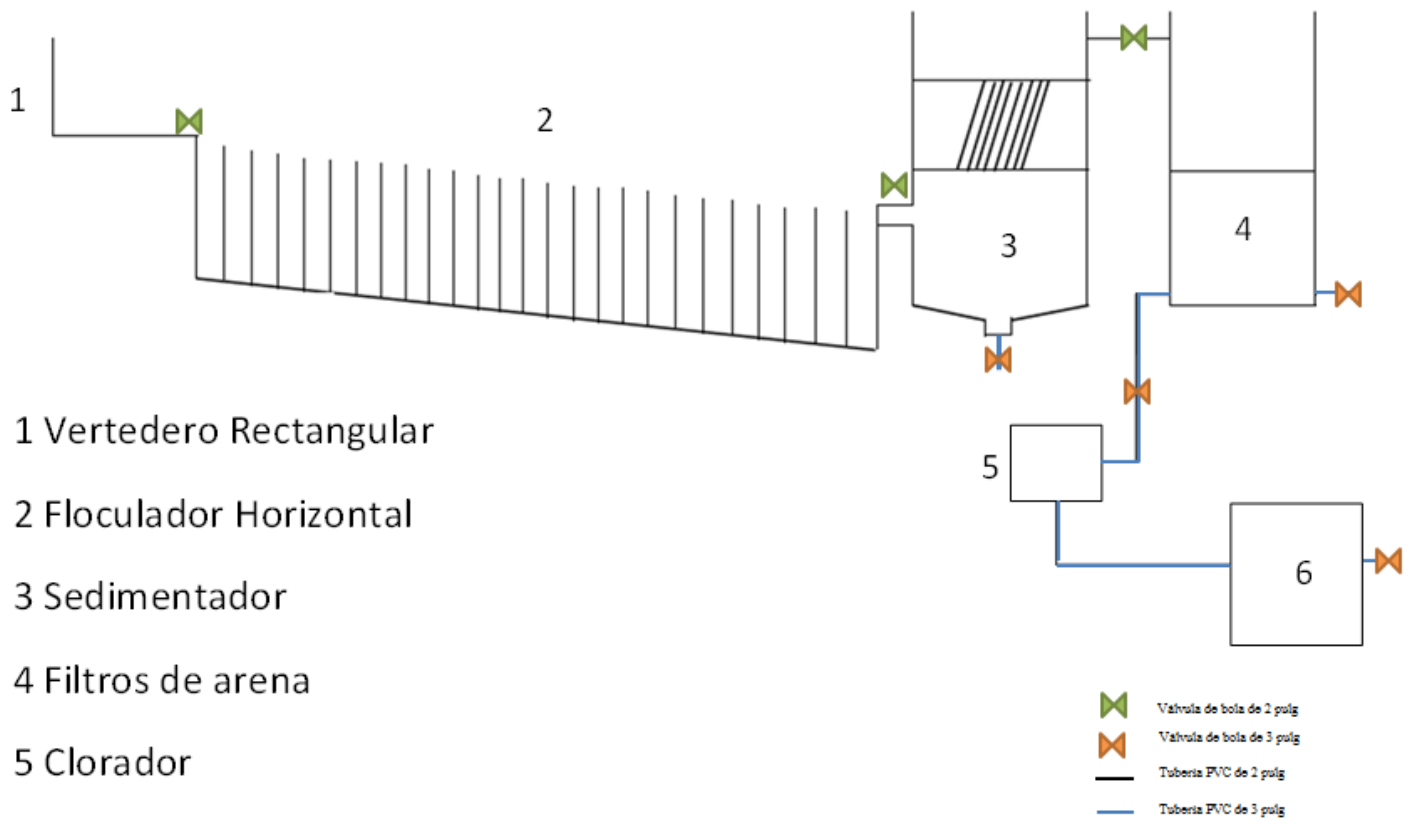
Dr. Juan Carlos Lara R.

Dr. Jinsop Mario Ruiz B.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (\*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

## Anexo H: ESQUEMA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA



Anexo I: CARTA DE CALIBRACION TURBIEDAD-PAC

